



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

**“DISEÑO DE UN EQUIPO DE TRITURACIÓN DE
PLÁSTICOS RECICLADO”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A:

AHUITZOTL ABRAHAM PALOMO LUJANO

ASESOR

ING. RAÚL CRUZ ARRIETA

BOSQUES DE ARAGON, ESTADO DE MÉXICO

2013





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTO PARA:

MI SUEÑO: El cual me permitió mostrar lo que puedo realizar con sacrificios, meritos y sobre todo con el amor que me dio en todo momento que lo necesite. TE AMO, mi nariz de bola.

MIS PAPÁS: Por permitirme ser parte de su gran familia en conjunto de mis hermanas, haberme regañado, felicitado, apoyado y más que nada darme todo el amor que siempre se necesita para llagar a la cima y culminar la meta. Gracias de todo corazón.

MI PADRES Y TIOS: Que estuvieron guiándome por el buen camino, dando consejos, mostrándome los pro los contras de tomar decisiones mal encaminadas hacia mi persona se los agradezco.

LOS PROFESORES: Me dieron el apoyo, la paciencia, los retos, la confianza para realizar y terminar una meta más de mi vida. Felicidades a los profesores por ser quien nos enseñar parte del estudio de la vida.

ÍNDICE

ÍNDICE	I
OBJETIVO	II
JUSTIFICACIÓN	II
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
Marco teórico de referencia	3
1.1 Antecedentes del plástico	4
1.2 Clasificación de plástico	6
1.2.1 Los termoplásticos	6
1.2.2 Los termoestables	7
1.2.3 Los elastómeros	8
1.3 La basura	10
1.3.1 EL plástico como basura	11
1.4 Definición e importancia del reciclado	12
1.4.1 Reciclado de plástico	13
1.4.2 Etapas del reciclado	13
1.4.3 Reciclado mecánico	14
1.4.4 Reciclado químico	18
1.5 El diseño mecánico	19
1.5.1 Identificar la necesidad	20
1.5.2 Definición del problema	21
1.5.3 Requerimientos o especificaciones del cliente	22
1.5.4 Diseño conceptual	23
1.5.4.1 Búsqueda de información	24
1.5.4.2 Alternativas de solución	24
1.5.4.3 Selección de la solución	26

1.5.5 Diseño detallado	27
1.5.6 Manufactura	28
1.5.7 Prueba y Calidad	30
1.5.8 Comercialización	30
CAPÍTULO 2	33
Diseño conceptual	33
2.1 Identificación de las necesidades	34
2.2 Definición del problema	37
2.3 Requerimientos del cliente o especificaciones	38
2.3.1 Especificaciones del equipo	43
2.4 Diseño Conceptual	44
2.4.1 Consideraciones de evaluación	59
CAPÍTULO 3	65
Diseño detallado	65
3.1 Introducción a los cálculos de los elementos del molino	66
3.2 Selección del motor	66
3.3 Sistema de transmisión para el movimiento del eje	70
3.3.1 Sistema de corte del material	71
3.4 Separador de residuos	78
3.5 Armazón del equipo	79
3.6 Receptor de material	81

CAPÍTULO 4	83
Evaluación del diseño	83
4.1 Marco histórico del método de elemento finito (FEM)	83
4.2 Introducción al método de elemento finito (FEM)	87
4.3 Eje de rotación	90
4.3.1 Esfuerzos del eje	94
4.4 Rotor	95
4.4.1 Esfuerzos del rotor	97
4.5 Cuchillas	98
CONCLUSIONES	102
ANEXO	104
Planos del “Diseño de un equipo de trituración de plásticos reciclados”	105
REFERENCIAS	125

OBJETIVO.

Diseñar un equipo capaz de triturar plásticos reciclados como los termoplásticos para dar una alternativa a la generación de soluciones para la conservación de nuestro medio ambiente.

JUSTIFICACIÓN.

En mi trayectoria como estudiante de Ingeniería en la FES ARAGÓN pude darme cuenta de la problemática que genera la carencia de información especializada en los procesos de diseño para un equipo trituración de termoplásticos, por lo consiguiente en este proyecto se tratará de generar la documentación necesaria para su diseño.

En la actualidad es vital fomentar la cultura del reciclaje, procurando contaminar menos y así disfrutar de un medio ambiente cada vez más limpio, que nos lleve a proponer alternativas al futuro incierto de la basura y en especial a los materiales plásticos que como es sabido requiere de mucho tiempo para que se degraden naturalmente. La ciencia y la tecnología tienen papel trascendental en este objetivo, si bien es cierto que a través de los avances científicos y tecnológicos la humanidad ha logrado sobrevivir y dominar al planeta, también es evidente que ahora la naturaleza nos está cobrando las agresiones que le hacemos día a día, sin embargo no es la tecnología “el verdugo” entre el planeta y los humanos, si nos mas bien la falta de carencia y sensibilidad para aplicar medidas prácticas de cuidado que están a nuestro alcance.

Tal parece que hubiéramos creado y empleado el avance tecnológico para nuestra autodestrucción (tecnología bélica), pero es el enfoque que le hemos dado históricamente, hoy en día es necesario cambiar la perspectiva del uso de la ciencia la tecnología. Esta es una propuesta viable para contribuir al rescate de nuestro planeta.



INTRODUCCIÓN.

Con el tiempo y la formación académica que me proporciona nuestra máxima casa de estudios, la **Universidad Nacional Autónoma de México** he forjado mi criterio para saber, que el ingeniero tiene un objetivo primordial en la faceta de la humanidad, contribuir a mejorar el medio ambiente, ya que la evolución y el crecimiento de la humanidad ha propiciado que los factores se diversifiquen, y los ingenieros tienen un papel de vital importancia en la solución de esas necesidades, con alternativas responsables, **“SIN MALTRATAR NUESTRO HOGAR, EL PLANETA”**.

Por esta razón propongo realizar el diseño de un equipo para reducir el material excedente que utilizamos hoy en día como es el plástico reciclado PET, de esa manera se evita que todo ese material llegue a nuestros mantos acuíferos, arroyos, mar, ríos y lagos, ya que el agua, es una parte vital para subsistencia de todo ser vivo; así como también reducir también el volumen de residuos en los tiraderos.

Otro punto importante del diseño del equipo, es poner en práctica las **3R, Reducir, Reutilizar y Reciclar**, ya que nos puede ayudar para un pos-proceso, y llegar a completar la regla.

Realizar este tipo de investigación del diseño nos permite tocar diferentes temas, debido a los materiales distintos que se utilizaron en este equipo, por ello la importancia de informarnos mediante catálogos, libros, etc. Partiendo de los elementos a ocupar sabremos las características de cada uno.



Además también podemos observar cómo se lleva a cabo un diseño desde los primeros pasos ¿Qué es la necesidad?, definir el problema, y posteriormente dar soluciones distintas a esa problemática, ya con las soluciones trabajamos bajo los lineamientos del cliente y transformándolos en especificaciones de ingeniería, realizando bosquejos a mano alzada para modelar las piezas que llevara el equipo.

Teniendo aquellas especificaciones ya clarificadas pasaremos a los estudios y cálculos correspondiente de los elementos principales del equipo, los cuales tendrán esfuerzos y desgastes sobre el proceso a triturar, de igual forma sabremos el tipo de material a utilizar, como el metal o acero, si algunos sufrirán tratamientos térmicos otros tendrán que manufacturarse y algunos otros de producción en serie.

Completando la parte del estudio y los cálculos, daremos paso a modelar los elementos del equipo mediante un software permitiendo la modelación y la manipulación de elementos para formar el equipo completo, además se analiza el diseño mediante el método de elemento finito (FEM), cual nos permite mostrar las fallas que tendrán nuestros elementos principales en el proceso de triturar plástico reciclado.



CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA



1.1 Antecedentes del plástico.

Antes de la primera aparición del plástico sintético, el hombre ya utilizaba la resina natural como el betún, gutapercha, goma, laca y ámbar, las cuales comenzaron a ser usadas por civilizaciones como la Egipcia, Babilónica, Hindú, Griega y China, sus aplicaciones iban desde utensilios y armas hasta la impregnación de los muertos para su momificación.

Posteriormente con los estudios del científico estadounidense Wesley Hyatt se obtuvo un producto, el cual patentó con el nombre de celuloide, que se manejaba en diferentes productos como placas dentales o cuellos para las camisas, el celuloide tuvo que ser reemplazado por sus características como es la inflamabilidad y su deterioro por la luz, y es entonces cuando surge un nuevo producto el polímero sintético, pero no poseía resistencia.

Fue en 1907 el Dr. Leo Baekeland descubre un compuesto que denomina como “baquelita”, es un material que presenta características como la resistencia mecánica, aislamiento eléctrico y altas temperaturas.

A partir de 1937, P. Flory consigue incluir el estudio de los polímeros como una rama de la ciencia, ofreciendo argumentos con bases sólidas en la ciencia y gracias a los estudios que se realizaron durante los años 30, se desencadenaron una serie de descubrimientos como el polivinilo (PVC), que es un plástico rígido y resistente al calor, de igual forma se desarrolla el politetrafluoretileno conocido como el teflón ó antiadherente, en 1953 el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno y el año siguiente el químico italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, estos dos científicos recibieron el premio Nobel en química, por los polímeros más utilizados en la actualidad.



Con los estudios posteriores se dieron a conocer las propiedades y características más importantes de los polímeros los cuales serían un sustituto viable de los materiales ya existentes. Sin embargo hay ventajas y desventajas como se muestra a continuación:

Ventajas.

- * Bajo costo.
- * Baja densidad.
- * Impermeables.
- * Aislantes eléctricos.
- * Aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas elevadas.
- * Resistentes a la corrosión.
- * Resistentes a cambios químicos.
- * Algunos se reciclan mejor que otros.
- * Fácil de trabajar.

Desventajas.

- * No resisten altas temperaturas
- * Algunos no son biodegradables
- * Mayor combustión de forma inmediata.

Además hoy en día la mayoría, por no decir todas, las materias primas para la obtención de los plásticos se obtienen a partir del petróleo crudo o el gas natural (etileno, butadieno y propileno), mediante procesos químicos. Sin embargo el porcentaje utilizado de petróleo y gas natural para la fabricación de plásticos representa solamente el 1,5 ó 2% del consumo total de los mismos



1.2 Clasificación de plásticos.

Los materiales plásticos se clasifican por medio de sus propiedades y características que tiene cada uno de ellos, como resistencia mecánica, durabilidad, elasticidad, un aislante térmico, aislante eléctrico, resistencia al desgaste, etc., entre otras además lo más importante del plástico es su reciclaje, a continuación se muestra los tres tipos de clasificación y sus respectivas aplicaciones.

1.2.1 Los Termoplásticos.

Son polímeros que pueden cumplir un ciclo de calentamiento-fusión y enfriamiento-solidificación por acción de la temperatura repetidas veces sin sufrir alteraciones; de ahí que sean muy buenos materiales de reciclaje por lo tanto tenemos diferentes tipos de plásticos de acuerdo a sus “componentes básicos” como son;

- ✓ Resinas celulósicas: obtenidas a partir de la celulosa, el material constituyente de la parte leñosa de las plantas. Pertenece a este grupo el rayón.
- ✓ Polietilenos y derivados: Emplean como materia prima el etileno obtenido del craqueo del petróleo que, tratado posteriormente, permite obtener diferentes monómeros como acetato de vinilo, alcohol vinílico, cloruro de vinilo, etc. Pertenecen a este grupo el PVC, el poliestireno, el metacrilato, etc.
- ✓ Derivados de las proteínas: Pertenecen a este grupo el nylon y el perlón, obtenidos a partir de las diamidas.
- ✓ Derivados del caucho: Son ejemplo de este grupo los llamados comercialmente pliofilmes, clorhidratos de caucho obtenidos adicionando ácido clorhídrico a los polímeros de caucho.



A continuación en la tabla 1 se muestra la clasificación de los principales termoplásticos para el cual se está diseñando nuestro equipo.

TIPOS PRINCIPALES DE TERMOPLASTICOS		
NOMBRE	DESIGNACION	APLICACION
POLITERAFTALATO DE ETILENO	PET o PETE	BOLSAS DE PLÁSTICOS, BOTELLAS DE BEBIDAS CARBÓNICAS, ZUMOS Y AGUA.
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	PEAD	BOTELLAS Y ENVASES EN GENERAL DE COLORES.
POLICLORURO DE VINILO	PVC	CARPINTERÍA, ROPA IMPERMEABLE, ARTÍCULOS DE JARDINERÍA, BOTELLAS, ETC.
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	PEBD	MATERIAL FINO Y TRANSPARENTE CON EL QUE SE HACEN BOLSAS DE PLÁSTICO Y ENVOLTORIOS.
POLIPROPILENO	PP	ENVASES DE YOGURT Y QUESO FRESCO, TAPONES DE BOTELLAS, MOQUETAS, CUERDAS Y SACOS.
POLIESTIRENO EXPANDIDO	PS	AISLANTE TÉRMICO Y EMBALAJES.
OTROS	OTROS	LA UNION DE DOS PLASTICOS DISTINTOS, PARA DORMAR UNO SOLO, EJEMPLO, PLATOS PARA MICROONDAS

Tabla. 1 Clasificación de termoplásticos. *Fuente: Elaboración propia

1.2.2 Los Termoestables.

Los plásticos termoestables son materiales que una vez que han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse. Generalmente para su obtención se parte de un aldehído (Tabla 1.2).

- ✓ Polímeros del fenol: Son plásticos duros, insolubles e infusibles pero, si durante su fabricación se emplea un exceso de fenol, se obtienen termoplásticos.
- ✓ Resinas epoxi.
- ✓ Resinas melamínicas.
- ✓ Baquelita.
- ✓ Amino plástico: Polímeros de urea y derivados. Pertenece a este grupo la melamina.
- ✓ Poliésteres: Resinas procedentes de la esterificación de polialcoholes, que suelen emplearse en barnices. Si el ácido no está en exceso, se obtienen termoplásticos. Pueden ser tanto naturales como artificiales.



TIPOS PRINCIPALES DE TERMOESTABLES		
NOMBRE	DESIGNACIÓN	APLICACIÓN
FENOPLASTOS (BAQUELITA)	PF	RESISTE ALTAS TEMPERATURAS, BUEN AISLANTE: ASAS DE RECIPIENTES DE COCINA, EMPUÑADURAS DE HERRAMIENTAS ELÉCTRICAS, OBJETOS ARTE, ETC.
POLIESTER	UP	ENDURECE A TEMPERATURA AMBIENTE: CARROCERÍAS, IMPERMEABILIZANTE DE PISCINAS, ETC.
AMINOPLASTOS (MELAMINA)	MF	REFRACTARIO: RECUBRE SUPERFICIES DE MADERA.

Tabla. 1.2 Clasificación de Termoestables. *Fuente: Elaboración propia

1.2.3 Los Elastómeros.

Estos plásticos tienen una magnífica propiedad que es la elasticidad, lo cual les ayuda a deformarse muy fácilmente, sin perder su estructura original cuando se deja de aplicar la fuerza que lo deforma; este tipo de plástico está formado de pocos enlaces, pero bien organizados, se muestran en la tabla 1.3.

TIPOS PRINCIPALES DE ELASTÓMEROS	
NOMBRE	APLICACIÓN
CAUCHO NATURAL (LÁTEX)	AISLAMIENTO TÉRMICO Y ELÉCTRICO, COLCHONES, ETC.
CAUCHO SINTÉTICO	NEUMÁTICOS, TUBERÍAS, AISLANTE DE CABLES ELÉCTRICOS, ETC.
NEOPRENO	TRAJES DE PROTECCIÓN: AGUA, ESCALADA, ETC.

Tabla 1.3 Características y utilización principal de los plásticos elastómeros. *Fuente: Elaboración propia.

Se pueden realizar pruebas simples para determinar el tipo de material plástico que es recuperable, y de esa forma evitar el grave impacto ambiental que causan al convertirse en basura, consumir los productos necesarios de manera razonable en el hogar, realizar una lista de plásticos, que al consumirlos tengamos el conocimiento claro si son materiales reciclables para un nuevo uso, son algunas medidas que se pueden tomar en el hogar y que repercutirán de manera importante en las disminuciones de desechos no degradables, a continuación se muestra en la tabla 1.4, las diversas pruebas a los materiales plásticos.

PRUEBAS PARA LA CLASIFICACIÓN.				
PRUEBAS TIPOS DE PLÁSTICOS	PE	PP	PS	PVC
AGUA	FLOTA	FLOTA	HUNDE	HUNDE
COMPORTAMIENTO DEL PLÁSTICO CUANDO SE APLICA CALOR.	LLAMA AZUL CON PUNTA(EL CONSEJO) AMARILLA, SE DERRITE Y GOTEÓ	LA FLAMA AMARILLA CON BASE AZUL	LA FLAMA AMARILLA CON DESTELLOS Y GOTEÓ	LA FLAMA AMARILLA SACA DESTELLOS, HUMO Y SE SIGUE QUEMANDO.
OLOR APLICÁNDOLE CALOR DIRECTAMENTE	SIMILAR A LA VELA	SIMILAR A LA VELA PERO MÁS FUERTE.	A CAMELO	ÁCIDO SIMILAR AL PICANTE
¿PRUEBA DEL RASGUÑO?	SI	NO	NO	NO

Tabla 1.4 Pruebas para la clasificación de los plásticos. *Fuente: Elaboración Propia

En nuestra vida cotidiana, el plástico juega un papel importante, porque esta en la mayoría de los productos que tenemos en el hogar, pero definitivamente tenemos que empezar a tratar el plástico no como basura, definitivamente es un material que se puede reutilizar.



1.3 La basura.

La mayoría de personas sabe el significado de basura, tan sencillo como “algo que ya no se ocupa”; según la real academia del español significa: desperdicio, e “inservible”. El desperdicio en el presente y futuro juega un papel muy importante, es

decir, la comunidad tienen el gran impulso de comprar productos que en ocasiones no ocupa, los cuales tienen grandes cantidades de plástico, tanto en su estructura como en su empaque, por lo tanto se convierte en una fuente generadora de desechos.

En realidad lo que falta es la comunicación con la sociedad, que posee información errónea sobre “la basura”, es una de las principales fuentes del problema, se considera una solución viable para disminuir el efecto nocivo, identificar los desechos de algunos productos que se pueden volver a utilizar.

Con la información mínima se puede identificar el tipo de basuras que tenemos en el hogar clasificándola de la siguiente manera:

No reciclables: como productos comestibles. Estos desperdicios contribuyen de manera ecológica a los procesos de abonar las plantas y cultivos agrícolas.

Reciclables: como papel, plásticos y metales. Estos son de gran importancia pero la mala información con que contamos nos hace identificarlos como basura, pero en realidad estamos equivocados, estos productos tienen una importancia considerable en los procesos de reciclado.

La finalidad de estos, es volverlos a utilizar mediante diferentes procesos. Entre los materiales reciclables mencionados tenemos uno de los más importantes el “plástico”.



1.3.1 El plástico como basura.

Como sabemos el plástico envuelve a las personas desde su nacimiento, por los materiales con que están contruidos los objetos que nos rodean como el biberón, empaques de alimentos, pañales, etc. Observado esto tenemos que tomar la iniciativa ante la capacidad de destrucción que puede representar, o bien obtener un beneficio del plástico en nuestro entorno.

La destrucción está presente, lo cual se percibe a simple vista, cuando salimos a las calles sucias, con bolsas de plástico, botellas de diferentes bebidas, llantas etc. Pero no solo eso, el daño no termina ahí, si no recogemos y confinamos adecuadamente la basura terminaremos con nuestras ya reducidas reservas ecológicas, como son los contaminados bosques, ríos y mares, si nos fijamos atentamente la mayoría de estos contaminantes son plásticos que regularmente a la tierra le toma un aproximado de 100 a 1000 años para degradar.

Sin contar que la tierra pierde su calidad de fertilidad, la otra parte importante es el agua, compuesto vital para los seres humanos, en algunas comunidades indígenas el agua resulta una forma de vida por lo que regularmente sus ríos y lagos están limpios, pero en la mayoría de los ríos vemos a la gente desechando desperdicio plástico como platos desechables, vasos, envolturas, botellas, etc., sin pensar en las consecuencias que esto provoca en el agua, simplemente tomamos agua contaminada por el Pet.

Tomar la decisión de que el plástico no se maneje como basura si no por lo contrario, que nos permita proteger el medio ambiente, representaría un mejor bienestar para la comunidad y nuestra biodiversidad.



De esta manera los científicos exponen algunas hipótesis para darle diferentes usos al plástico, se propusieron varias alternativas para la reducción de desechos, pero el proceso del reciclado de plástico, resulto ser la propuesta más viable.

1.4 Definición e importancia del reciclado.

Definir el concepto de reciclado es hablar de las tres “erres”, reutilizar, recuperar y reducir. Mediante diversos estudios se ha determinado que el porcentaje de reciclaje es bajo, ¿por qué? Solamente se reciclan el 2 % de plástico a nivel mundial en comparación de otros materiales como el 29% del aluminio, 60% de papel, lo cual resulta preocupante dada la alta demanda, por lo tanto es importante tomar conciencia sobre el consumo y desecho de estos materiales, resulta evidente que el reciclaje parte desde el hogar, al adquirir los productos apropiados que en realidad se ocupen, que se puedan reutilizar, como bolsas, embalajes, etc.

Reciclar es una medida que nos ayuda a disminuir la problemática que hemos creado en la vida moderna, con la finalidad de reducir el uso y conservar los recursos no renovables como el petróleo.

El reciclaje también pretende producir nuevos productos con material reciclado, pudiendo beneficiar a gran parte de la población que esta sumergida en pobreza extrema; ¿cómo? la respuesta es sencilla, estableciendo acuerdos con las autoridades de los municipios encargadas de los basureros, realizando un trabajo conjunto entre autoridades y la misma comunidad.



1.4.1 Reciclado de plástico.

El plástico ha demostrado, ser un elemento importante en la vida cotidiana; actualmente sería impensable el cese en su producción, por lo cual los puntos determinantes en esta problemática mundial son, por una parte, reducir en gran medida el consumo de plástico y por otra el reciclaje, obligando así a la industria petroquímica, industria transformadora y aquellos diseñadores relacionados con la manera de utilizar los plásticos, a fabricar productos con menor recurso (materia prima), los cuales tengan una capacidad de reutilización mayor.

1.4.2 Etapas del reciclado.

Para entender y aplicar el proceso de reciclado de material, se ha propuesto sistematizarlo de la siguiente manera:

- ❖ La primera etapa es la **recolección**, se inicia normalmente en el hogar teniendo en consideración los tipos de desechos, definitivamente hay dos grupos básicos de residuos tales que son los orgánicos: restos de comida y jardín, los inorgánicos: son metal, papel madera, plástico y vidrios, los cuales se pondrían de manera correcta en contenedores y así poder tener una separación preliminar de manera correcta.

- ❖ La segunda etapa son los **centros de reciclado**, en esta área se reciben los diferentes materiales ya compactados los cuales no pueden estar a la intemperie por mas 3 meses, por que su estructura puede alterarse fácilmente por los rayos ultravioleta y por consiguiente el material ya no funcionaria correctamente.



- ❖ La última de las etapas se llama **clasificación** un paso esencial para la organización de los residuos, en esta etapa se determina qué tipo de materiales y si se puede reutilizar, el número de veces que el material ha sido reciclado, asimismo se seleccionan los diferentes tipos de plásticos que existen.

En la figura 1 se muestra la manera más sencilla en que se lleve a cabo el proceso del reciclado.

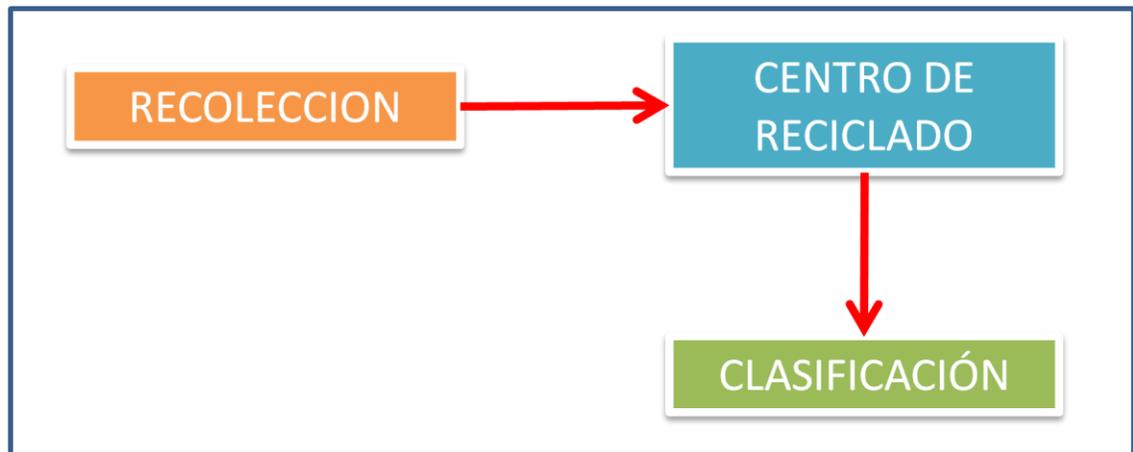


Figura 1. Etapas del reciclado. *Fuente: Elaboración propia

1.4.3 Reciclado mecánico.

El reciclado mecánico se define, como el tratamiento del plástico por medio de presión y calor, que posteriormente pasa a la formación de objetos similares o distintos al que se tenía. Por ello los plásticos ideales para el reciclado mecánico son aquellos de mayor tamaño, por ejemplo botellas, residuos de envase, parachoques y depósitos de gasolina de los automóviles fuera de uso, o residuos recogidos en grandes cantidades como es el caso del film procedente de invernadero.



El proceso de reciclado mecánico comienza con la clasificación de los residuos u objetos usados de plástico. Los productos de un solo material separados y clasificados, se les trata como mono productos. En casos específicos, y con la tecnología adecuada, una corriente determinada de productos (por ejemplo, residuos termoplásticos mezclados procedentes de recogida selectiva de envases), pueden ser tratados sin separación por reciclado mecánico.

En todo caso los materiales plásticos más complejos o no termoplásticos deben ser rechazados en la clasificación.

El paso siguiente es la trituración o molienda, que puede realizarse en dos etapas y con una intermedia de eliminación de contaminantes (papeles, etiquetas, etc.) A continuación, el producto se almacena en un contenedor para que continúe el proceso.

La preparación final del producto empieza con el lavado y la separación de sustancias contaminantes, proceso que se puede repetir si fuera necesario, para pasar al centrifugado y secado del material, que se almacena en nuevos contenedores intermedios en los que, además, se realiza una homogenización que garantice la calidad constante y adecuada.

El producto triturado, limpio, seco y homogéneo alimenta a la extrusora y tras el proceso de granulado, se obtiene la granza lista para ser procesada por diferentes técnicas, fundamentalmente, se pueden considerar tres casos en este proceso final como son:

- a) Procesamiento del producto reciclado directamente. En este caso, las piezas obtenidas tienen en general propiedades menores a las fabricadas con



polímero virgen, pero puede ser suficiente en algunos casos con la aplicación correcta.

- b) Mezcla de la granza reciclada con polímero virgen para alcanzar las condiciones requeridas. El ejemplo típico es la adición de polímero virgen a la mezcla de termoplásticos para la fabricación, por ejemplo, de perfiles.
- c) Coextrusión del producto reciclado, generalmente entre dos o más competitivas. Un ejemplo de esta técnica es la fabricación de botellas para bebidas, en la que la capa intermedia puede ser de polímero reciclado y la interior (en contacto con el producto) y exterior son de polímero virgen.

El resultado son nuevos objetos de plástico reciclado: bolsas, maceteros, tuberías de drenaje, señales de tráfico, bancos para parques, etc. Algunos de ellos son habituales en nuestra vida desde hace años, como puedan ser las bolsas de basura o las tuberías de desagües, mientras otros son novedosos y están en estos momentos iniciando su entrada en los mercados.

En la figura 1.1 de la siguiente página, se muestra gráficamente las particularidades del proceso de reciclado mecánico y algunas de las aplicaciones más comunes en cuanto a los productos destinados del material reciclado.



Figura 1.1. Proceso de reciclado mecánico. Fuente www.plastico.com



1.4.4 Reciclado químico.

Se ha demostrado que algunos plásticos sufren deterioro, por ello no cumplen con ciertas características dado a que los plásticos estén revueltos con diferentes tipos de sustancias y entonces tendrían que someterse a un costoso tratamiento de limpieza; dado a esto la química juega un papel importante ya que con diferentes reacciones químicas podemos alargar la vida de los materiales y poder procesarlos y reciclarlos más veces. En esta parte se pueden considerar tres formas de procesar los plásticos como son:

Hidrólisis.- se basa el proceso en la despolimerización total por acción del agua en presencia de ácidos o álcalis.

Metanolisis.- consiste en la despolimerización total del plástico por acción del metanol. En un proceso de trans-esterificación en el que se obtiene teraftalato de metileno y etilenglicol.

Glicólisis.- conduce a la despolimerización parcial por acción del etilenglicol, formando el éster hidroxietílico y mezcla de oligómeros. La mezcla de reacción se somete a purificación, siendo polimerizada posteriormente con resina virgen.

Por medio de la 1.5, nosotros podemos ver y darnos cuenta de cómo se hace un reciclado, de los diferentes modos que hay, lo cual nos permite hacer un trabajo limpio, seguro y más eficiente.

	RECICLADO MECÁNICO	RECICLADO QUÍMICO	
		GLICOLISIS	METANOLISIS
CALIDAD DEL DESPERDICIO	ALTA	MODERADA	AMPLIA
COSTO DE OPERACIÓN	BAJO	MODERADO	ALTO
CALIDAD DE PRODUCCIÓN	MODERADA	ALTA	"VIRGEN"
MERCADO	REDUCIDO	MUCHOS	TODOS

1.5 Tabla comparativa de los termoplásticos y termoestables. *Fuente: Elaboración Propia



Por medio de esta tabla podemos observar las diferentes formas de reciclaje que existen, permitiéndonos hacer un análisis comparativo para un trabajo más seguro y de acorde a nuestras necesidades

De esta manera entendemos las ventajas y las desventajas de los procesos de reciclado que permite la reutilización de este material de gran importancia, a través de éste sencillo análisis los ingenieros, diseñadores y personal que se dediquen a la realización de equipos, transformadores de plástico PET podremos tener un mejor control.

1.5 Diseño mecánico.

La palabra “diseño” a lo largo de la historia ha tenido algunas variantes por ejemplo:

Feilden.- “En ingeniería, el diseño es utilizado principalmente como una técnica científica, que tiene información estructurada, que debe ejecutar sistemas con una perspectiva con un máximo de eficiencia y economía”.

Archer.- “Es la descripción del modelo mediante un equipo el cual nos envuelva hacia la creatividad por medio de pasos”.

Caldecote.- “La función de diseño es básica para un producto, encontrar las especificaciones del diseño con la finalidad de que sean económico en su manufactura”.

Teniendo en cuenta las definiciones de los antiguos diseñadores es grato presentar la definición aproximada del diseño. “Es el proceso de establecer los requerimientos basados en necesidades humanas, transformándolas en especificaciones de desempeño y funciones las cuales son convertidas (sujeta a restricciones) en



soluciones del diseño (usando la creatividad, principios científicos y conocimientos técnicos) que pueden ser económicamente manufacturados”.

Paso siguiente es detallar el modelo por medio de un software o herramienta informática de esta manera se mostrará el trabajo que realizará. Un buen trabajo de diseño permite la máxima economía y eficiencia para la manufacturación más adecuada.

La evolución del diseño nos ha permitido considerar los argumentos de distintas personas basándose en los diferentes aspectos del problema real, de manera que las decisiones se toman en grupo, las cuales fortalecen el proyecto que vayamos a emprender o diseñar.

Llevar a cabo una metodología propia del diseño se considera elemental en la secuencia de pasos que permitirán tener un mejor control de las ideas concretas.

1.5.1 Identificación de la necesidad.

Surgen normalmente de la insatisfacción de los clientes y de los productos que las empresas, institutos gubernamentales, estancias comerciales, etc., producen. De manera que una necesidad puede tener variaciones, lo cual permite, diferentes puntos de vista. Estos requerimientos o necesidades del cliente deben ser escritos de manera clara y precisa y serán la base del producto a diseñar. Después de la entrevista con el cliente debemos de sintetizar lo que quiere el cliente y traducirlo en frases que nos permitan identificarlas como un requerimiento o requisito, estas frases pueden ser:

- Decir lo que el producto debe hacer y no cómo debe hacerlo.
- Ser tan específico o detallado como la información proporcionada por los clientes.
- Ser formuladas en forma positiva y no negativa.



- Expresar la información en términos de atributos del producto.

De esta manera se logra que el proyecto tenga una mejor rentabilidad y beneficios para la empresa.

1.5.2 Definición del problema.

El problema básicamente es la parte funcional de todo el proceso a desarrollar. Es necesario tener varias soluciones a un problema para que sean llevadas a una mesa de discusión, en la que se realizará la valoración factible de criterios de cada uno de los diseñadores y así se tomará la solución más correcta.

La complejidad de los problemas irónicamente nos permite fortalecer nuestra capacidad de resolución.

En la medida en que la población se multiplica, sus necesidades también, y satisfacerlas es cada vez más complejo; los futuros ingenieros deben estar con los conocimientos necesarios para contribuir en la satisfacción de las necesidades de una sociedad tan demandante como la nuestra.

A esa compleja realidad se le suma la problemática ambiental que actualmente se ha convertido en un tema nodal en nuestra sociedad.

El hombre, el ser más pensante en nuestro planeta ha fabricado su propia destrucción, tratando de llevar una vida cada vez más sofisticada, pero sin tener la menor conciencia del daño causado a su hogar.

Los daños que hemos causado al planeta son irreversibles pero si es posible controlar sus efectos.

Como futuros profesionistas de la ingeniería es preciso e ineludible nuestro compromiso en tratar de resarcir los daños al ambiente.

La producción del plástico es un punto clave en el deterioro ambiental, porque no es biodegradable y su producción es altamente contaminante, sin embargo es un material muy importante en nuestra sociedad, prescindir de él traería otros problemas



muy complicados por lo tanto la solución a este problema deberá tener un enfoque integral que contemple a la sociedad y a su medio ambiente.

Necesariamente debemos preguntarnos:

¿Qué? Son los contenidos de las acciones, las variables que relacionan todas las fases y sistemas.

¿Cuándo? Es la secuencia de las acciones que se observará en cada una de las fases de desagregación del modelo a desarrollar.

¿Cómo? Son los procedimientos especificados, es decir, las técnicas y la creación de los modelos: Teóricos, Estructurales, Formales, Funcionales e Informáticos. Son fundamentales antes de empezar el proceso de diseño.

1.5.3 Requerimientos del cliente o especificaciones.

Otras de las etapas necesarias y requeridas se basa en la demanda de los clientes. Para realizar el diseño en función de la necesidad que tenga técnicamente más prioridad para él.

Paso indispensable para diseñar es, el estudiar las variantes que nos permitan manifestar las ideas conceptuales, de manera que el cliente nos muestre lo que requiere y necesita basándose en los errores obtenidos, los cuales nos darán la pauta para el manejo de ideas elocuente a enfocar, para desarrollar propuestas adecuadas.

De modo que se solicita al cliente, las cualidades que deben de tener los equipos o productos como se verá continuación por medio de la tabla 1.6, se muestra la importancia de las especificaciones de la empresa o cliente solicitado.



ESPECIFICACIONES MÍNIMAS PARA UN DISEÑO.	
Desempeño del producto	Mantenimiento
Vida útil del producto	Costo del producto
Logística	Transporte
Competencia	Calidad
Empaque	Tamaño
Manufactura	Apariencia
Peso	Acabado
Ergonomía	Desarrollo en un rango de tiempo
Materiales	Estándares
Confiabilidad	Pruebas e inspección
Factores sociales y culturales	Condiciones y políticas de la empresa
Seguridad	Patentes
Restricciones de mercado	Factores políticos
Normatividad	

Tabla 1.6 Especificaciones requeridas por el diseñador.

***Fuente: Elaboración Propia**

Al hacer una lista de especificaciones nos permite revisarla constantemente para ver si estamos cumpliendo con dichas demandas. La tabla nos permitirá un avance considerable, ya que desde el principio sabemos lo que demanda el cliente.

1.5.4 Diseño conceptual.

También se conoce como diseño funcional, en el cual se proporcionan bosquejos hipotéticos sobre lo que se va a diseñar, tomando en cuenta el funcionamiento, componentes principales, materiales, procesos generales y características del producto a un grado en el cual se puedan estimar costos, y la factibilidad de llevarlo a producción y comercialización exitosa, de la misma manera se toma como parte importante la revisión en conjunto con el cliente estas variantes, y nos basaremos en las ideas que él aporte, lo que será plasmando en papel de



manera que se puedan aportar gradualmente mayores conceptos importantes, de cómo debe quedar nuestro diseño.

Para resolver más rápidamente el problema se pretende dividir en partes, de manera que los miembros tengan tareas distintas y esto facilite la planeación y el control del trabajo.

1.5.4.1 Buscar información.

Esta búsqueda de información debe ser de manera constante en todo el trayecto del proceso del diseño, nos permite encontrar soluciones a los problemas o algunas partes de los mismos.

- Como son las entrevistas con los grandes líderes de compañías distintas en ese ramo, y tratar de percibir algunas ideas de ellos traducidas por uno mismo y plasmarlas textuales para fortalecer a un más el trabajo.
- Otra es la búsqueda de los expertos en este problema que son conocidos por profesores, investigadores de las universidades y de modo más concreto con los centros de investigación.
- Consultar diferentes patentes, lo cual permite tener una imagen más detallada de las especificaciones, que permiten valorar las características del equipo.
- Al término de la vigencia de patentes de distintos equipos se pueden hacer ajustes libremente para estudios propios.
- También se puede acceder a la información mediante revistas, folletos, libros, cintas de video, actualmente y ahora con el avance tecnológico podemos encontrar por medio de Internet estudios importantes y lograr un mejor estudio.

1.5.4.2 Generar alternativas de solución.

Una opción más es la creatividad para la solución, está abierta a todas las discusiones para la elaboración del equipo, se tiene que tomar en cuenta no solo a



una persona, si es posible a un grupo de especialistas en el área, nos permitirá la generación de nuevas alternativas, que podrían ser organizadas de la siguiente manera:

- Inicialmente considera todas las soluciones como relevantes y con posibilidad de éxito
- Generar muchas opciones de solución
- Reducir las ideas a esquemas o diagramas simples
- Analizar la posibilidad de combinar soluciones para generar nuevas alternativas.

De manera simple hay diferentes soluciones sistemáticas que son:

- Las tablas de soluciones: a través de una tabla que contiene soluciones podemos trazarlas de diferente modo, tomando las más indicadas a la solución del problema, como se muestra en la figura 1.2.

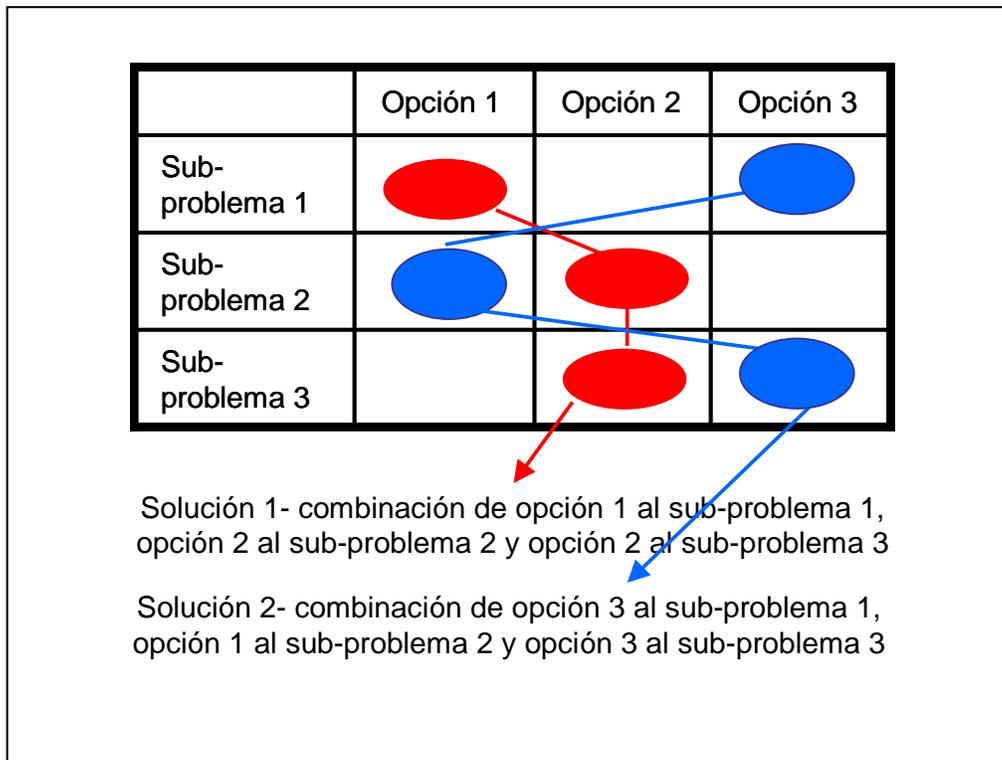


Figura 1.2. Matriz morfológica. Fuente Elaboración propia



- Otro método es el diagrama de árbol, nos permite resolver un problema considerando diferentes caminos, y agrupándolos en diferentes categorías de soluciones, para desglosarlas de manera particular en la solución del problema. Se muestra en la figura 1.3.

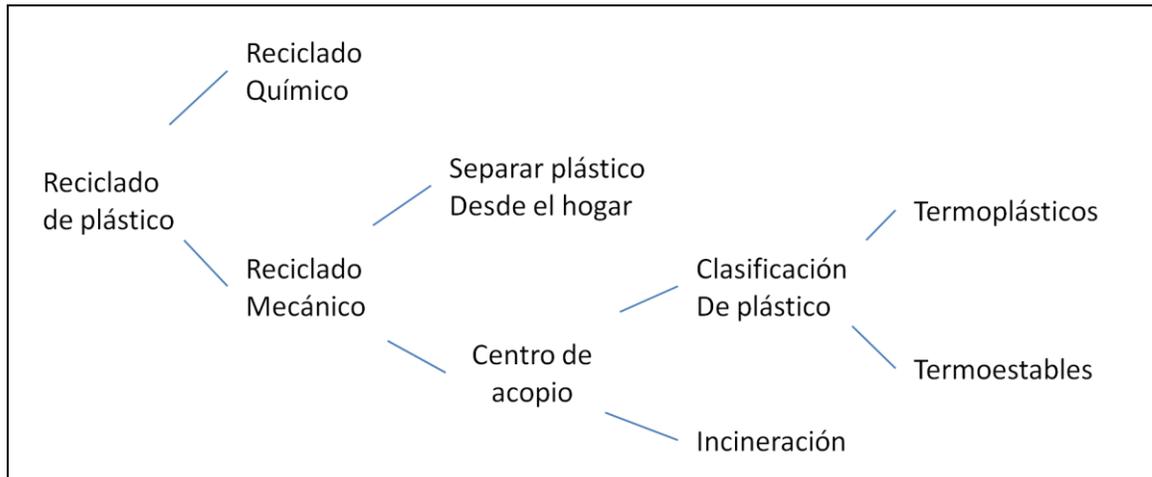


Figura 1.3 Diagrama de árbol. Fuente Elaboración propia

1.5.4.3 Selección de la solución.

En la solución adecuada existen varios aspectos a considerar:

- El director o el dueño de la empresa hace la selección con base a su experiencia o estudio.
- Solicitar al cliente que haga la selección.
- Un miembro del equipo de trabajo, por su estatus o por su conocimiento, hace la selección.
- La selección se hace por estudio.
- El equipo de trabajo hace una votación.
- Se listan los pros y contras de cada solución y se toma una decisión consensada.
- Se realizan experimentos o pruebas para evaluar las alternativas de solución respecto a las especificaciones del producto.
- Empleo de matrices de decisión.



De este modo se ve que una persona puede tener la toma de solución correcta pero a su vez es mejor la decisión de varios personajes especializados en el área.

1.5.5 Diseño detallado.

A diferencia del diseño conceptual este diseño detallado nos permitirá trazar numéricamente los pasos por medio de programas computacionales, para la manipulación de objetos, de modo que se tiene precisión al diseño, para esto se tiene que verificar las dimensiones, tolerancias o rangos, materiales, procesos y demás características importantes que nos den la máxima precisión posible. Se identifican los componentes disponibles en el mercado. Se seleccionan o especifican para que los proveedores puedan surtirlos. También se tienen que tomar en cuenta los aspectos de producción como son:

- Que el producto pueda ser manufacturado o producido por procesos disponibles
- Definir al producto y a sus componentes para lograr la calidad requerida a un costo competitivo
- Detallar el producto y sus componentes de tal forma que requieran de un mínimo de operaciones de producción o manufactura
- Que todos los aspectos relacionados con los costos de producción sean incluidos y cuantificados
- Que el producto pueda ser realizado y entregado en el tiempo demandado por el cliente
- Que se puedan fabricar o producir las cantidades o el volumen requerido del producto
- Que exista uno o varios proveedores que puedan surtir los componentes comerciales del producto en el tiempo, costo y volumen requeridos-



Hay otras variantes que tomar en cuenta para el diseño detallado como identificar los componentes que pueden ser estandarizados al interior de la organización, cumplir con la normatividad y asegurarse de que las satisfagan, algunos aspectos como el ciclo de vida, almacenaje, transporte, distribución, exhibición, instalación, servicio, mantenimiento, desechos, reciclaje, etc.

Para terminar con este proceso del detalle, debemos preparar mediante etapas la documentación necesaria para la producción.

1. Proceso de manufactura.
2. Proceso de ensamble.
3. Dibujo de fabricación (planos de partes).
4. Diagrama de ensamble.
5. Dibujos de ensamble.
6. Lista de componentes y de materiales.
7. Procedimiento de inspección.
8. Pruebas de aceptación de calidad.
9. Especificación del producto material.

1.5.6 Manufactura.

En este proceso uno de los más importantes, por la magnitud de responsabilidad que se tiene para comenzar el proceso, se tiene que hacer una planificación detallada a la producción del diseño mediante pasos coherentes como se muestra a continuación:

1. **Aspectos administrativos de la producción.** En este paso se evalúan los costos de producción.



2. **Calendario para cumplir con el plan de producción.** Fechas en que los equipos deben estar listos para producir, periodos de mantenimiento, se debe recibir la materia prima y componentes comerciales, se debe señalar la fecha en que se arrancara la producción y las metas a lograr en cuanto al volumen requerido periódicamente en lapsos de tiempos bien definidos.
3. **Recursos e infraestructura necesarios para la producción.** Incluyendo equipos, herramientas, accesorios, y proveedores respectivos; así como espacio, infraestructura e instalaciones y servicios necesarios.
4. **Recursos humanos para la manufactura.** Considerando personal técnico y administrativo responsable de las operaciones del proceso y de aquellas de apoyo como el control de calidad.
5. **Requerimientos de capacitación.** Considerando: operación, mantenimiento y calibración de equipos; conocimiento del producto y en particular de las especificaciones de entrada y salida del proceso que le corresponde; aspectos asociados a la seguridad y procedimientos de emergencia; requerimientos administrativos y técnicos propios de la organización.
6. **Materias primas y componentes comerciales.** Tomando en cuenta: verificación de calidad, tiempo de entrega, proveedores, condiciones de almacenaje, inventarios requeridos, etc.
7. **Recursos de validación y pruebas.** Equipo e infraestructura necesarios para realizar los procedimientos y controles de calidad.
8. **Herramientales y accesorios de producción.** Incluyendo herramientas, equipos auxiliares, de manejo de materiales y desechos, etc.
9. **Proceso de flujo de manufactura.** Incluyendo la disposición de los equipos en la planta productiva y las rutas de flujo de materiales, partes y productos.
10. **Procedimientos y controles de calidad.** Considerando procedimientos y frecuencia de verificación de calidad de: operaciones críticas del proceso de producción; de especificaciones de componentes en proceso y terminados; de producto en proceso y terminado.



11. Documentación necesaria para soportar la manufactura del producto.

Estos documentos incluyen: hojas de descripción de proceso, guías visuales e instructivos para operarios, documentos para verificación y control, etc.

12. Empaque y embalaje. Considerando: condiciones de almacenamiento, manejo y transporte; indicaciones a incluir y presentación; de ser el caso diseño gráfico; requisitos para protección física y contra humedad del producto; etc.

13. Estimación de la demanda futura del producto y planeación de las adecuaciones necesarias para el proceso de producción.

Basándose en estos pasos obtendremos un proceso de manufacturación con errores mínimos y una buena eficiencia. Lo cual nos permite mantener un seguimiento congruente y eficaz.

1.5.7 Prueba y Calidad.

Después de tener todos los elementos con las medidas correctas se empieza el ensamblado y ajustes, de ésta misma forma terminada esta operación damos paso a las pruebas necesarias de calibración para ver si cada elemento está funcionando de acuerdo al estudio que se llevo a cabo, para obtener un producto de calidad y así llegar al paso siguiente.

1.5.8 Comercialización.

En este paso se necesita comercializar la idea del producto, para proporcionar su funcionamiento, estética, costo, etc. Lo cual ya esta implícito por el cliente ya que tenemos las especificaciones y características, de la demanda de la empresa o cliente. Nosotros para poder comercializar debemos seguir los siguientes pasos:

- Preparar un plan de lanzamiento del producto considerando actividades de ingeniería, manufactura, mercadotecnia, ventas y servicio al cliente.



- Evaluar la aceptación del producto mediante la retroalimentación de clientes representativos, grupos de enfoque, mercados de prueba, o pruebas a prototipos beta antes del lanzamiento del producto.
- Identificar y establecer canales de ventas.
- Estimar requerimientos de cambios en el producto basados en información y análisis del mercado.
- Basar el lanzamiento del producto en estimaciones de demandas del mercado.
- Preparar anuncios, folletos del producto, material de mercado, comunicados de prensa, y páginas de Internet; para ser usados en el momento conveniente.
- Entrenar al personal de ventas, servicio y soporte.
- Tener un mecanismo de revisión que confirme que todos los aspectos relevantes han sido considerados y que el producto está listo para ser lanzado.
- Asegurar que los distribuidores, los canales distribución y almacenes de producto terminado cuentan con la cantidad de producto adecuada.
- Lanzar el producto cuando los canales de servicio, ventas y distribución están listos.

De esta manera podemos comercializar los equipos o productos que se consideren más viables para el consumidor y clientes, de manera que sea grato la inversión a corto, mediano y largo plazo de nuestros procesos de diseño.

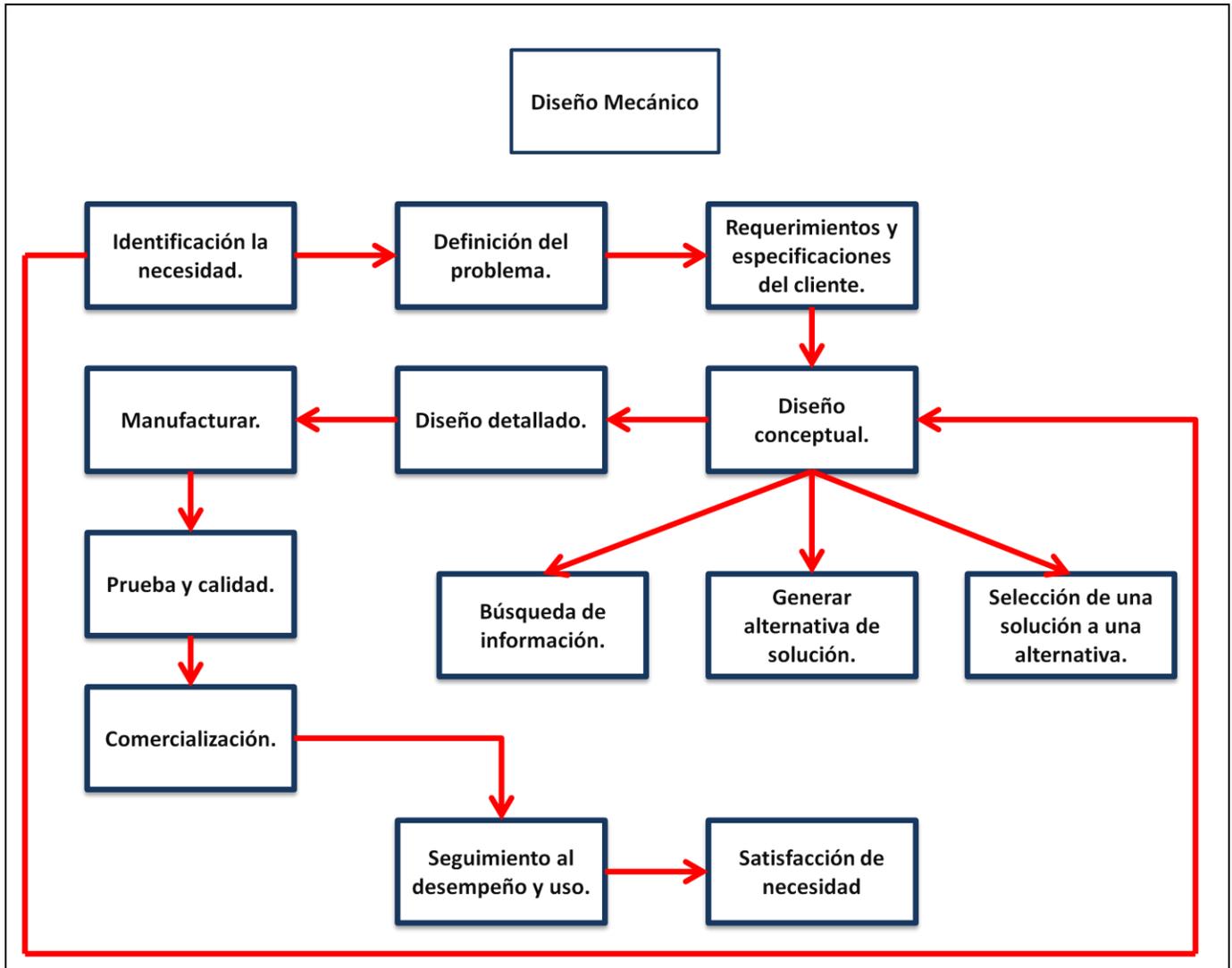


Figura 1.4. Diagrama de un proceso para diseño de un equipo de trituración de plásticos reciclados a partir del diagrama de Pahl and Beitz. Fuente Elaboración propia

La mayoría de la información recabada se utiliza para el diseño de un producto, cabe mencionar que en algunos casos los procesos siguen diferentes secuencias en función de la necesidad de cada uno de los diseñadores y clientes. Las diferentes etapas del diseño mecánico se muestra en la figura 1.4, se centran en un equipo triturador de plásticos, sin embargo sirven como ejemplos para el diseño de equipos similares o con características que permiten su aplicación, de ahí la necesidad de ser más explícitos para que los ingenieros en formación tengan información práctica y clara.



CAPÍTULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL



2.1 Identificación de la necesidad.

De modo que para identificar la necesidad, de manera concreta y oportuna, e propuesto un ejercicio que contenga una serie de preguntas debidamente contestadas por un cliente, mostrando a continuación las preguntas más relevantes antes de empezar un diseño que se fabricará para un posible cliente.

1. ¿Qué función necesita que realice la máquina?

Requiero de una máquina que tenga la capacidad de triturar diferentes tipos de plásticos. Como consecuencia se preguntó. ¿De qué tipo de plásticos requiere que se trituren? bolsas, envases, tinas y envases de refresco.

2. ¿Cuenta con algunas especificaciones ó características particulares para el equipo?

Requiero que las dimensiones de la granulación tengan dimensiones de 5 mm, para que sean reutilizadas en un post-proceso.

3. ¿Qué capacidad de molienda requiere usted para el equipo?

Necesito 100 kg/h aproximadamente, con un porcentaje del + - 10% de tolerancia en la variación del volumen de producción.

4. ¿Cuáles serán los tiempos de operación de la máquina?

Será un proceso continuo, en jornadas laborales de 8 horas de trabajo normal

5. ¿Tiene consideradas algunas Dimensiones en particular de este equipo?

Que sea una máquina que no ocupe mucho espacio y que sea manejable.



6. ¿Dónde se colocará el equipo a la intemperie o en zona cubierta y qué tipo de clima existe?

En una zona, que solamente va a tener un techado de lámina, el clima es seco.

7. ¿Quiere que sea controlada manualmente ó automáticamente?

Automáticamente, que yo la encienda y empiece a trabajar.

8. ¿Con cuánto personal controlará el equipo?

Que sea el mínimo, una persona solamente.

9. ¿Cuánto presupuesto tiene destinado para el equipo?

Tengo una partida presupuestal, de aproximadamente \$35,000.00, dependiendo de cómo se desarrolle el proyecto se verá si se puede destinar otra partida.

10. ¿En cuánto tiempo requiere el equipo?

La máquina requiero que esté en 4 meses funcionando y solicito verificar periódicamente los avances.

Además nos señala el cliente unos detalles más:

- Que no hiciera tanto ruido porque no quería que se dieran cuenta los vecinos que tenía máquina, por cuestión de seguridad.
- Me gustaría que tuviera movilidad que me permita moverla, para hacer limpieza por ejemplo, que cuente con unas llantas u otra cosa para moverla.
- Que las piezas no sean tan complicadas de conseguir, ya sea que se puedan manufacturar o comprarlas.



Después de analizar los comentarios y características que el cliente solicita, se llegó a sintetizar sus requerimientos de la siguiente manera:

1. Una máquina que triture diferentes tipos de plásticos, reduciendo sus dimensiones aproximadamente de 3 a 5 mm.
2. Que el equipo tenga una capacidad de proceso 100 kilogramos en una jornada laboral.
3. Un equipo de dimensiones reducidas.
4. Que cuente con cierta movilidad.
5. El funcionamiento será en un ambiente seco.
6. Que se opere con un mínimo de personal.
7. La energía de operación tiene que ser eléctrica.
8. Las piezas de desgaste que se puedan manufacturar o comprar fácilmente.
9. Bajar los niveles de decibeles en cuanto al ruido generado.
10. Presupuesto de \$35,000.00.
11. El tiempo de desarrollo desde el plan del proyecto hasta la manufactura completa debe de ser de 4 meses.

Aunque el cliente no manifestó el aspecto de la seguridad en la operación del equipo y su funcionamiento es obligado a considerar un doceavo aspecto que sugiero sea como sigue:

12. La operación y funcionamiento de la máquina deben cumplir las normas de seguridad e higiene en el medio ambiente de trabajo, cuyas versiones estén vigentes para la localidad a que sea destinada, por ello, también deberán considerarse las condiciones normalizadas de instalación de la máquina y sus servicios auxiliares.



2.2 Definición del problema.

Para la definición del problema se deben de tomar en cuenta las características solicitadas por el cliente, planteándose un argumento válido para formular cada uno de los aspectos que debe tener el problema, con relación a esto uno se pregunta:

¿Cuáles son los problemas centrales del diseñador para este caso?

- El problema central se deriva del estudio de las características planteadas por el cliente, debido a esto se obtuvo que la parte primordial de éste se basa en la obtención de la materia final que son las partículas asimétricas de las dimensiones establecidas por el cliente que son de 0.8 a 1 cm² máximo, y las tolerancias se ajustan a un rango inferior del mismo.
- Mediante el estudio se valoró otra problemática, se trata del comportamiento del plástico, ya que son materiales que tienen diferentes propiedades. Debido a esto tenemos que saber las características para cada uno.
- En el mercado, existen equipos similares, lo cual nos permite realizar una valoración y comparación del dispositivo, para definir si es viable el diseño en función del costo.
- También es importante y apropiado determinar que el cliente tenga tiempo para la valoración del proyecto. Después el diseñador debe enfocar su tiempo para prepara un informe global. En un programa inicial del proyecto se propone quede finalizado satisfactoriamente incluyendo el objetivo, cuando el usuario lo requiera.



Tomando en consideración todos los puntos ya mencionados, daremos un paso que nos permitirá entrelazar las necesidades o características con los problemas, para determinar el diseño y funcionamiento del equipo.

2.3 Requerimientos del cliente o especificaciones.

Las especificaciones son parte principal durante el proceso del diseño, ya que nos permiten tener la idea fundamental del producto, tener márgenes y ajustes que intervengan en los problemas, que posteriormente se acoplarán a las características del producto, y que se obtengan resultados más legibles de manera que logremos tener números que se traduzcan o se interpreten en datos ordenados en tablas y permitan desarrollar cálculos y análisis, enfocados al producto de manera que presentamos una tabla donde se explica la traducción de las características del cliente a especificaciones de ingeniería. Conociendo la diferencia comparación entre el cliente y el ingeniero, nos damos cuenta de que se debe presentar el proyecto, en términos sencillos. Las especificaciones aun no están completas debemos definir y analizar cada una de ellas como se muestra a continuación:

Desempeño del producto.- Será la capacidad de trabajo del equipo cuya respuesta se verá reflejada mediante parámetros o variables, los cuales evaluarán su desempeño en un periodo de tiempo.

Manufactura.- Nos permite realizar los procesos acabados deseados a las piezas en las diferentes etapas en que se conformará el equipo.

Medio ambiente.- Debido al manejo del material y el proceso del equipo, la contaminación sería diferida a rangos menores por debajo de las normas establecidas.



- Materiales.-** Son aquellos, que nos permitirán la elaboración del producto, tenemos que especificar los materiales de acuerdo con los esfuerzos a los que serán sometidos.
- Costo del producto.-** Como su nombre lo indica esta característica se basa en el análisis de costos, de manera que al obtener presupuestos con distintos proveedores de los materiales o partes, estaremos fortaleciendo aun más el proyecto que se tenga que realizar. Por qué, se realizan bajo parámetros o variables establecidos de los proveedores. Con certeza daremos una cotización viable en costos reales y fundamentados según el procesó que vayamos a realizar.
- Mantenimiento.-** El diseñador tiene la labor de que la máquina, tenga acceso inmediato a la mayoría de las partes que conforman el equipo, sin tenerlo que desarmar por completo. Debido al proceso de producción que se debe ¡interrumpir lo menos posibles!
- Restricciones de mercado.-** Mostrar los diferentes estudios con respecto a los modelos que se encuentran en el mercado, teniendo el análisis sabremos cuales serían las particularidades y normatividad que deben de regir a la producción.



Tamaño.-	Tener las dimensiones aproximadas de donde se instalará el equipo, nos permite tener claras las medidas con las cuales manufacturará el equipo.
Seguridad.-	Visualizar y analizar el funcionamiento del equipo, mostrará la importancia de poner protecciones adicionales para la seguridad de la maquina y sobre todo del operador.
Transporte.-	Necesariamente se toma en cuenta, por la necesidad de transportarla a su destino, nos permite tomar en cuenta si es en varias piezas o en un conjunto ensamblado o en varios.
Vida útil del producto.-	Debemos estudiar los materiales, los esfuerzos, con los que se construirá y a los que se someterá el equipo, posteriormente determinar la durabilidad del producto con respecto a su trabajo estándar..

De modo que la interpretación y la valoración de cada uno de los requisitos y especificaciones se encuentran en la tabla 2, se muestra la relación entre los requisitos del cliente y requerimientos de ingeniería, mostrando una nomenclatura de relación 1, 3 y 9, como puede observarse:

- 1 – Relación indirecta a un 15%
- 3 – Relación media directa a un 50%
- 9 – Relación directa a un 100%

“DISEÑO DE UN EQUIPO DE TRITURACIÓN DE PLÁSTICOS RECICLADO”

EQUIPO DE TRITURACIÓN DE PLÁSTICO		DATOS PERMISIBLES, PARA EL SOPORTE DE LOS REQUERIMIENTOS	REQUERIMIENTO DE INGENIERÍA.																
			Porcentaje Total del proyecto	Durabilidad del equipo.	Tiempo de operación.	Dimensiones del equipo	Tiempo de Mantenimiento.	Tiempo de desarrollo del proyecto.	Costo de componentes.	Trituración de dif. Plásticos.	No. Op. de manufacturación.	No de partes.	Tiempo de ensamble.	Tiempo de desensamble.	Peso del equipo.	Herramientas para operación y mantenimiento.	Seguridad de Operación.	No. De decibeles permisibles en el funcionamiento del equipo.*1	
CARACTERÍSTICAS O NECESIDADES DEL CLIENTE.	Funciónhabilidad	Fácil de operar	10	-	9	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
		Trituración de diferentes plásticos.	10	-	-	1	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Tiempo de vida del equipo	10	9	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Fácil Mantenimiento	5	-	-	-	9	-	-	-	1	1	1	3	-	3	-	-	-
		Mínimas Dimensiones	5	-	-	9	-	1	1	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-
		Fácil acceso a los componentes	5	-	-	-	1	-	-	-	1	3	-	1	-	1	1	-	-
	Tiempo	Diseño: 4 meses	10	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Manufacturación: 3 meses	5	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Pruebas: 1 meses	5	-	1	-	1	-	-	1	-	1	1	1	-	1	-	1	-
	Costo	Mínimo	8	-	-	-	-	3	9	-	3	1	-	-	-	-	1	1	-
	Manufacturación	Menor numero de operaciones	5	-	-	1	-	-	-	-	9	1	-	-	-	-	1	-	-
	Ensamble	Menor numero de piezas	5	-	-	-	1	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-
		Fácil ensamble	5	-	-	-	1	-	-	-	-	1	9	1	1	-	-	-	-
		Fácil desensamble	5	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	9	1	3	-	-	-
Seguridad	Seguridad.	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	
Emisiones al medio ambiente	Ruido*	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	9	
	Unidades	%	Hrs/trabajo	Hrs	cm.	hrs.	días	\$	#	#	#	Hrs	Hrs	Kg.	#	Hrs	dB		

Tabla 2. Relación de las características o necesidades del cliente y especificaciones de ingeniería.
Fuente: Elaboración Propia

* La secretaría de salubridad establece un rango de 68db permisible



A continuación se muestran las relaciones más directas entre las características del cliente y las especificaciones de ingeniería:

- * El manejo del equipo será con el número mínimo de operaciones posibles.
- * La variedad de plásticos a triturar será; PE, PET, PEAD, PEBD, PVC, PP, PS, PMMA Y PA.
- * El costo del proyecto se determinará por el estudio y diseño de los componentes del equipo.
- * El mantenimiento quedará definido en tiempos amplios.
- * Las dimensiones aproximadas serían de 1800mm altura x 800mm ancho x 700mm fondo.
- * El tiempo estimado del proyecto aproximadamente se considera de 4 meses, con sus respectivas evaluaciones como se muestra en la siguiente tabla.

ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
PLANIFICACION	■	■														
CALCULOS	■	■	■													
PLANOS Y AJUSTES			■	■												
PEDIDO DE MOTOR				■												
MAQUINADO DE LAS PIEZAS.				■	■	■	■									
COMPRA DE MATERIAL.					■	■	■	■								
MANUFACTURACION DEL EQUIPO								■	■	■	■	■	■			
PRUEBAS													■	■	■	
ENTREGA.																■

Tabla 2A. Cronograma para entrega del equipo.

- * Se requerirá del mínimo de personal para operar el equipo.
- * La maquinaria requiere del menor número de piezas.
- * Para el cambio de piezas requerirá un menor número de operaciones.
- * Deberá de contar con dispositivos de seguridad durante la operación y el mantenimiento.
- * No se excederá los niveles permitidos de ruido por el oído humano.



Tener la relación entre el cliente y el diseñador nos permite fortalecer el trabajo para evitar errores de ajustarse a las necesidades y requerimientos del cliente.

Nosotros al diseñar este equipo de molienda debemos de tomar en cuenta las definiciones anteriores, y que posteriormente nos permitirá la formación de un concepto propio para obtener las especificaciones detalladas de lo que necesita el proyecto De esta manera nos acercamos a las especificaciones del equipo.

2.3.1 Especificaciones del equipo.

- * Dimensión de la hojuela 3/16”, ¼”, y 5/16”
- * Motor de 3hp 120-240volts c.a.
- * Velocidad de producción aproximadamente de 100kg/hr.
- * Materiales a procesar PE, PET, PEAD, PEBD, PVC, PP, PS, PMMA Y PA.
- * Dimensiones máximas aproximadamente 1800 x 700 x 500mm
- * Costo mínimo posible.
- * Componentes eléctricos.
- * Protector térmico para motor.
- * Ruido por debajo de los 65 dB.

De este modo con las características establecidas por el cliente y traducidas a especificaciones del diseñador, lograremos un diseño óptimo con diferentes ideas que amplíen nuestras hipótesis, mediante diagramas y especificaciones ya establecidas.

2.4 Diseño conceptual.

En este paso del diseño, nos concentraremos en las ideas más detalladas por medio de un diagrama de flujo, las cuales nos permiten, realizar cuestionamientos hipotéticos de entrada y salida de los procesos, como el diagrama de la caja negra que simboliza las acciones de un equipo sin tener en consideración el trabajo que realiza en su interior. Según Ullman² dentro de la caja negra se llevan a cabo procesos en términos de: flujo como energía, materiales e información. Esto permitirá conocer de manera más completa las funciones que realizará el equipo en su interior, lo cual nos sirve para completar la idea y estrategias, que determinarán la funcionalidad del equipo a planear. (Figura 2.)

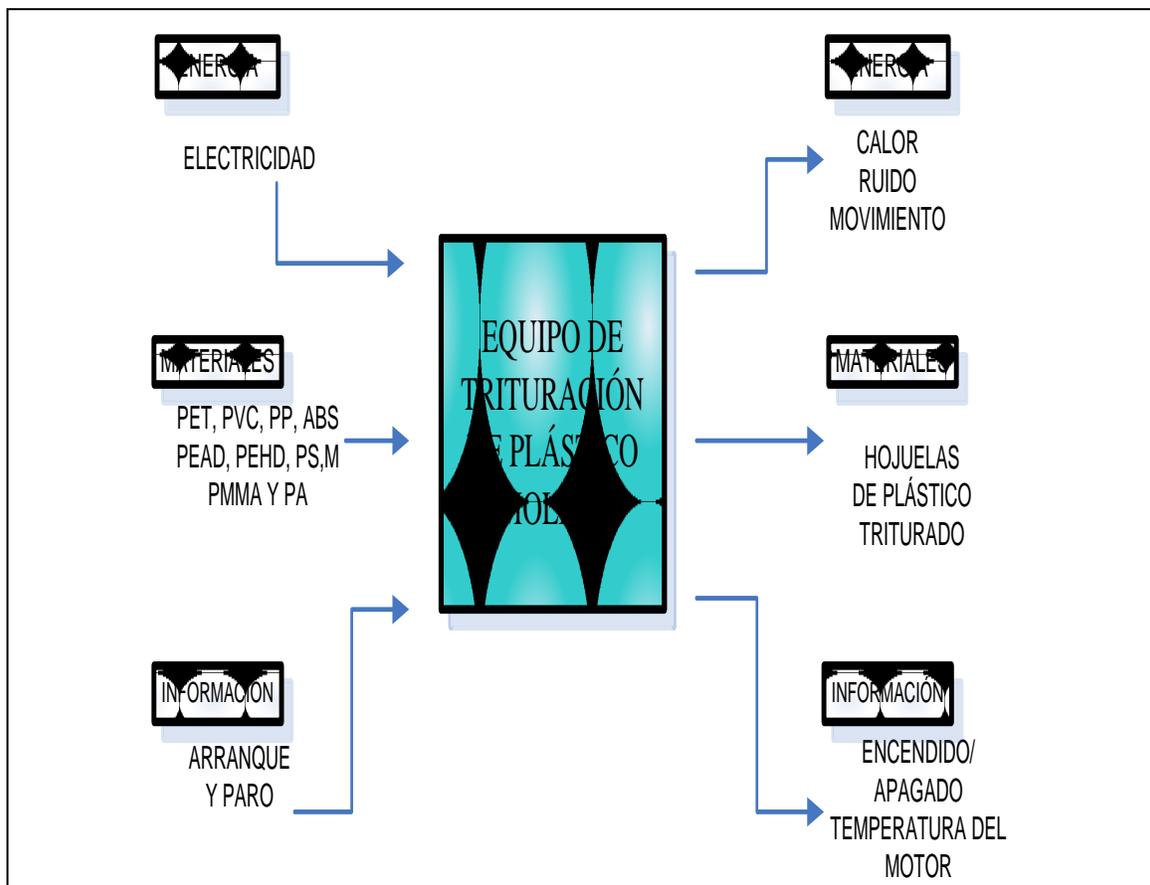


Figura 2. Diagrama de caja negra para el equipo de trituración de plástico reciclado.
*Fuente: Elaboración Propia

² David G. Ullman, el proceso de diseño mecánico.



De la figura 2 podemos tomar ciertas decisiones acerca de cómo creemos que se puede llevar a cabo el funcionamiento y los procesos en el interior del equipo, por lo tanto un paso siguiente sería la descomposición en funciones de lo que imaginamos que hará el equipo, esto se observa en la figura 2.1.

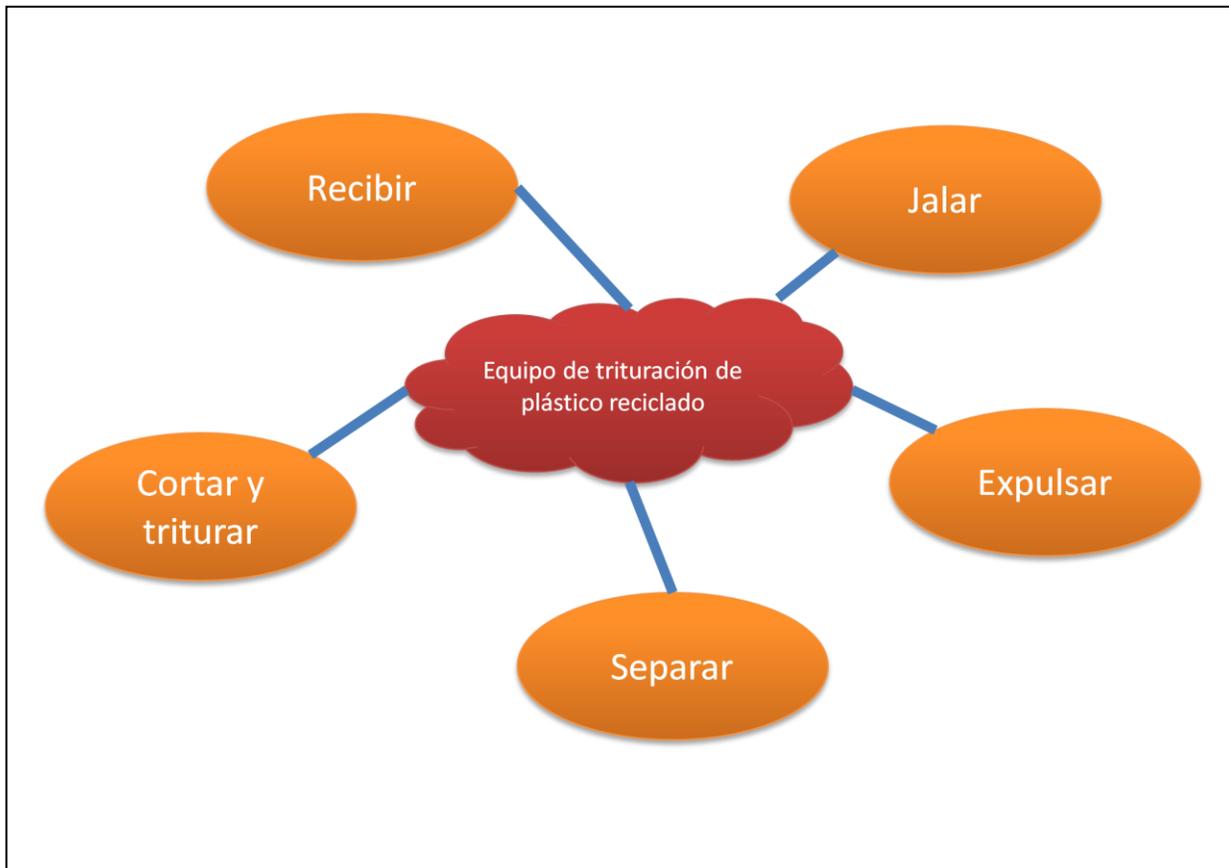


Figura 2.1. Funciones principales del equipo de trituración de plástico reciclado. *Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta las funciones principales de la máquina damos a conocer la descripción de cada una, como se muestra a continuación:

- **Recibir.** Se refiere a un dispositivo que permita el almacenamiento momentáneo del material antes de ser procesados.



- **Almacenar.** Permite el acumulamiento de materiales a procesar, lo cuales posteriormente se van a retirar.
- **Separar.** Esta función consiste en separar aquellos residuos que cumplan las características requeridas y el resto será almacenado para otro proceso.
- **Silenciar.** La importancia de esta función radica en no permitir que el ruido salga directamente, al medio externo, disminuyéndolo considerablemente para no provocar daños al medio ambiente.
- **Cortar.** Es la función primordial de este proyecto, es aquí donde se transformarán y reducirán las dimensiones de los materiales, considerando que las partículas no entren en el intervalo de dimensiones serán recortadas, hasta conseguir el tamaño deseado, de manera que en el equipo tenemos una función implícita llamada trituración y también tenemos 2 subfunciones más las cuales se mencionan a continuación:
 - **Acercar.** Dentro de la función de corte, se llevará a cabo una subfunción que permitirá acceder al material a procesar.
 - **Expulsar.** Que por medio de la trituración de plásticos estos serán desalojados del equipo.

Con ésta primera descomposición funcional obtuvimos algunas respuestas de lo que imaginamos que pasara dentro de la caja negra, ahora bien sabemos qué tipo de funciones se llevan a cabo dentro del equipo y cuáles serían las entradas en términos de energía, material e información para que se muestren dentro de una caja transparente y así mostramos el resultado de nuestro objetivo principal el de poder procesar plásticos reciclados, esto puede observar en la figura 2.2:

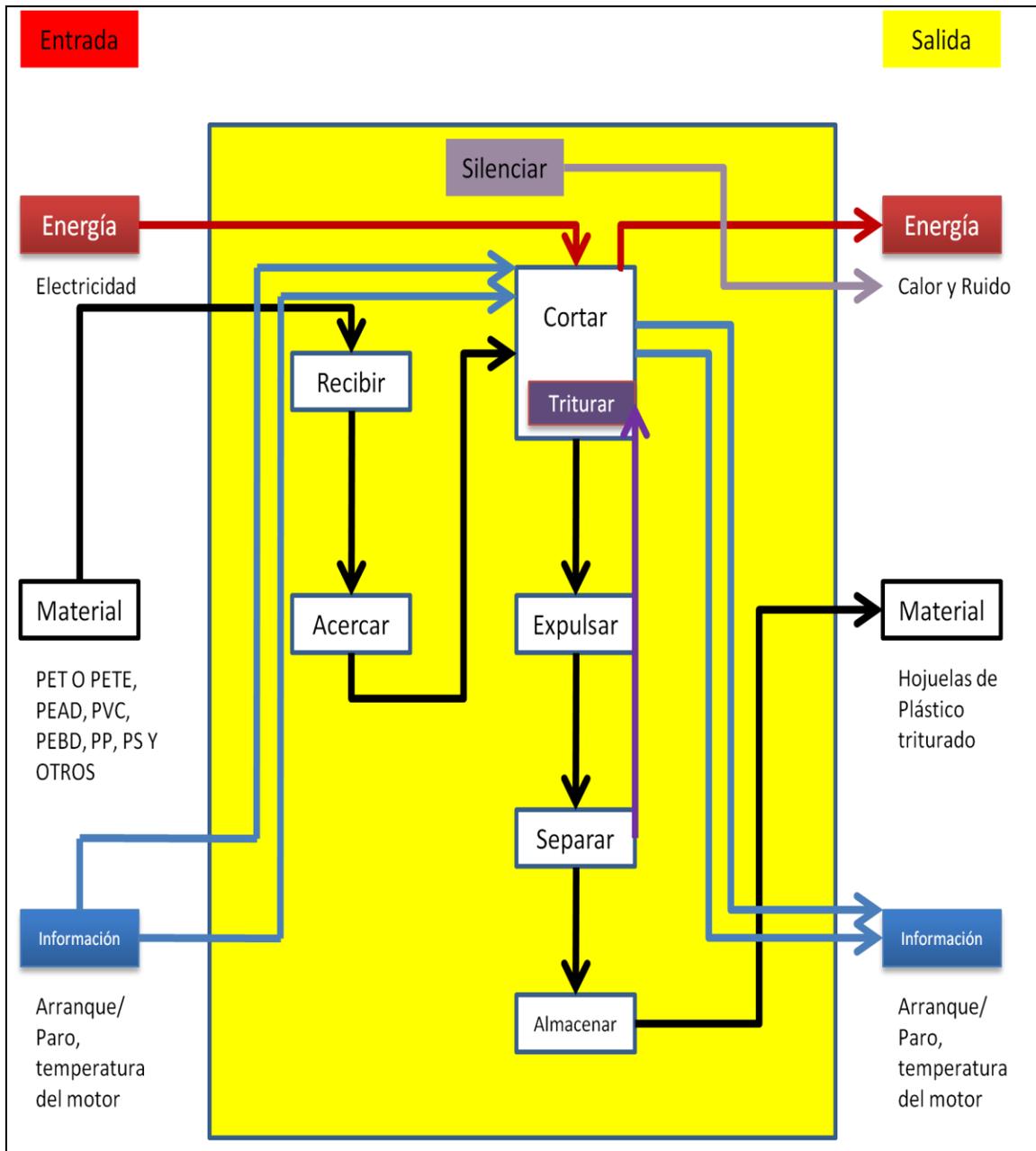


Figura 2.2. Caja transparente del molino. *Fuente: Elaboración Propia

Aquí se muestra claramente la diferencia entre observar lo que está pasando en el molino y no saber que procesos se llevan dentro de la máquina, aun más con esta representación grafica vamos a entender a detalle el funcionamiento de cada una de las entradas de energía, materia e información y como se interconectan con las funciones ya mencionadas anteriormente en la figura 2.1 y cuáles son los resultados de nuestro proceso.



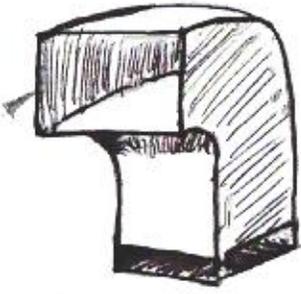
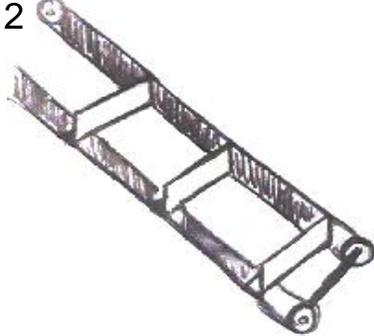
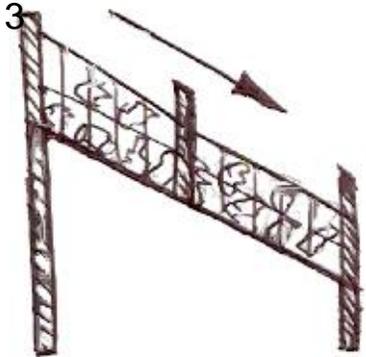
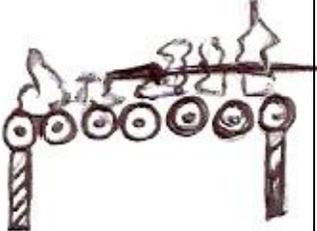
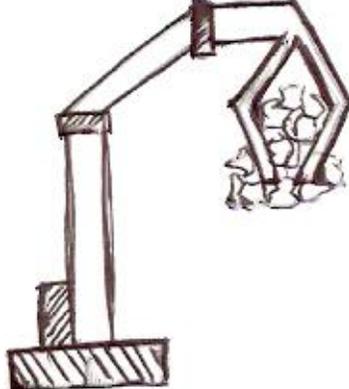
El modo de operar estas etapas, para la elaboración de la máquina que nos permite valorar alternativas diferentes, de cómo estará el equipo, como funcionaría con modelos distintos y esto se verá en la siguiente etapa, que es la de creatividad de bosquejos y de toma de decisiones. Este método de formulación de varios aspectos tiene la finalidad de mostrar resultados al escoger distintas formas de realizar el equipo, con la ayuda de una matriz morfológica, será una manera correcta de tomar diferentes decisiones como se muestra en la tabla 2.1.

Función	Subfunción	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5	Opción 6	Opción 7	Opción 8
Recibir		Tolva	Banda Transportadora con peldaños	Rampa lisa	Rodillos giratorios	Brazo mecánico	Manualmente		
Cortar	Acercar	Banda transportadora	Tornillo Sin Fin	Ganchos					
		Cuchillas rotatorias	Discos con cantos Afilados	Prensa hidráulica con rejilla de corte	Hélices helicoidales múltiples	Cilindros de giro opuesto	Guillotina	Tijeras	Discos Dentados
	Triturar	Alaves a altas rpm	Cadena de corte	Engranés	Rodillos Astriados				
	Expulsar	presión de aire (compresor)	Aspiradora	Caída libre	Vibración del corte				
Separar		Rejilla Metálica	Líquidos	Por Aire	Manualmente				
Almacenar		Contenedor	Sin contenedor	Envasado Directo.					
Silenciar		Caja anti ruido	Tapones Auditivos	Orejeras					

TABLA 2.1 Matriz Morfológica. *Fuente: Elaboración Propia



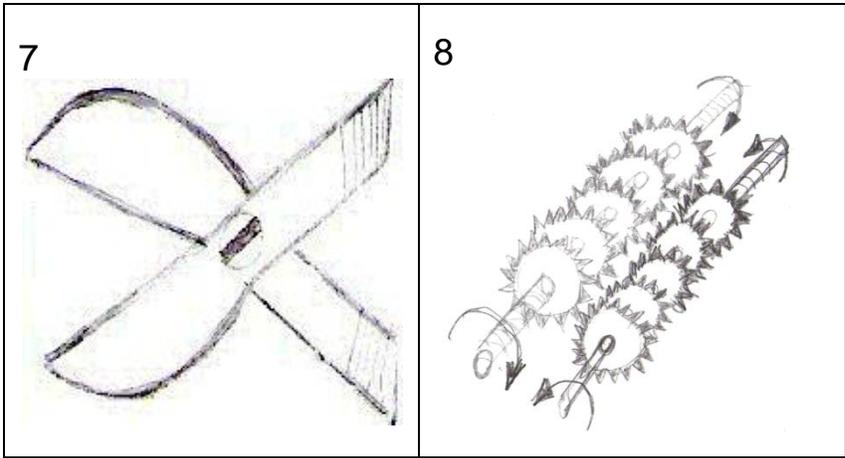
A través de esta tabla 2.1 se muestra teóricamente las opciones que tiene cada función y como podemos sacar variantes de cada una de ellas; ahora teniendo estas opciones pasamos a formar un prototipo para cada función de nuestro equipo como se muestra en las siguientes tablas:

FUNCION RECIBIR.		
1 	2 	3 
4 	5 	6 

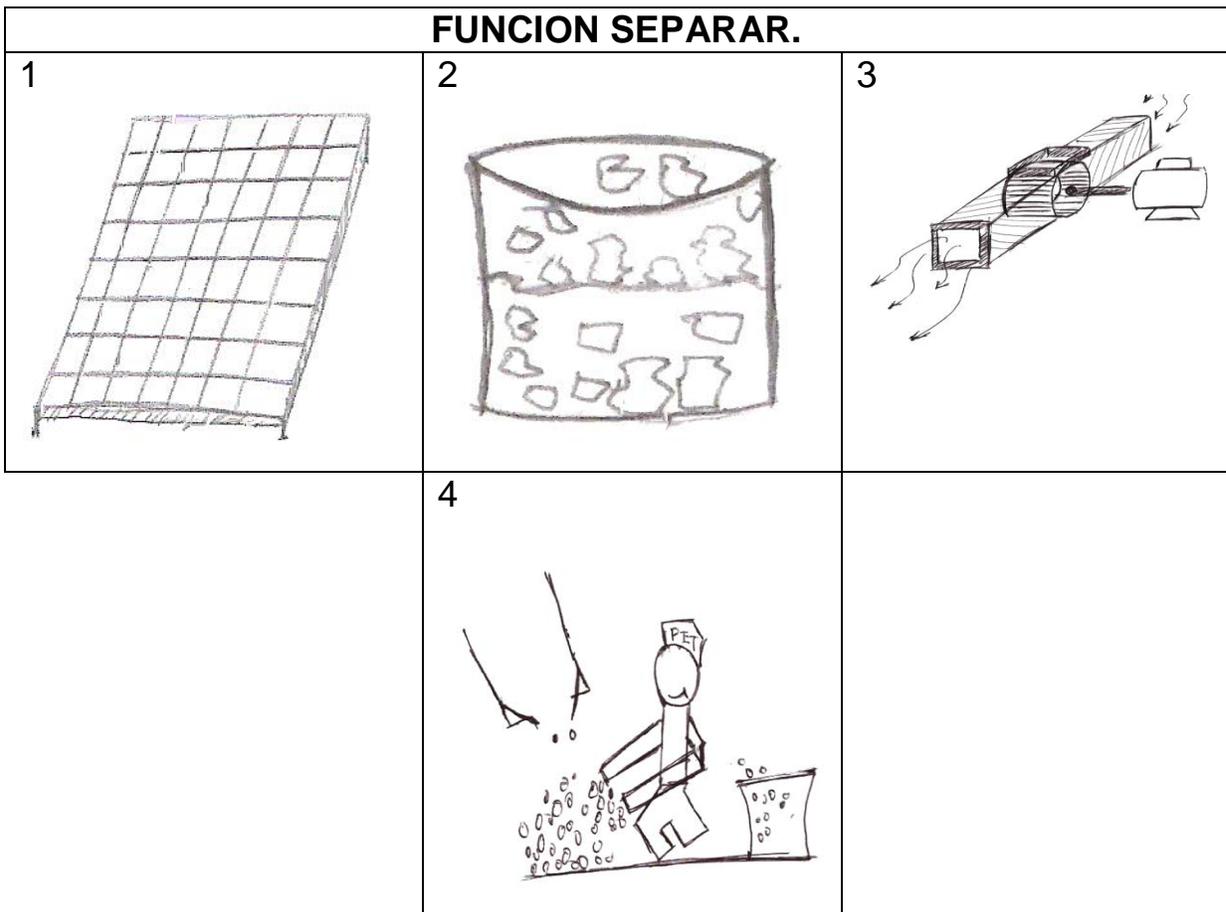
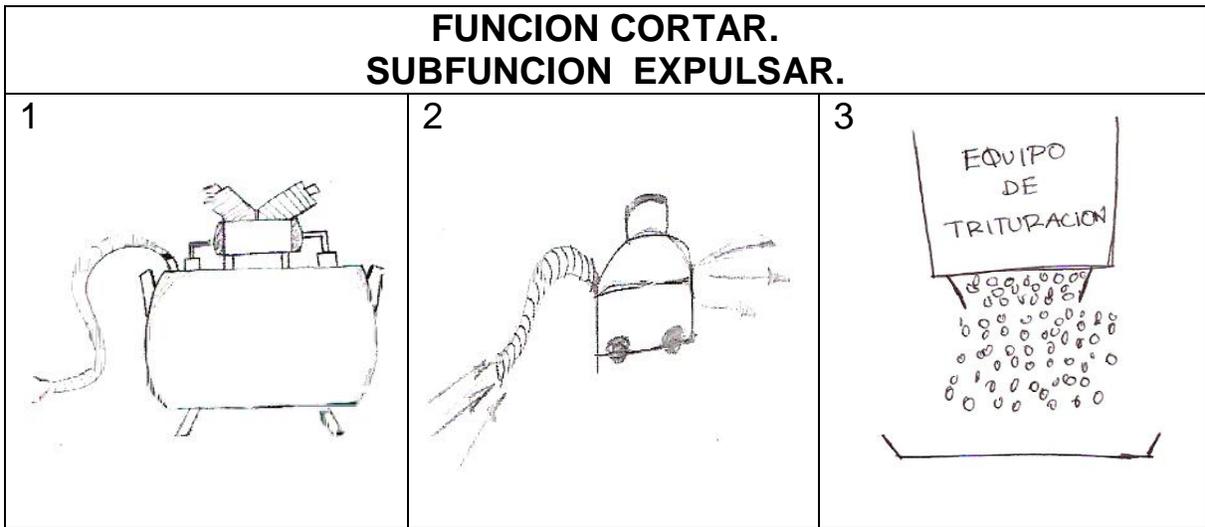


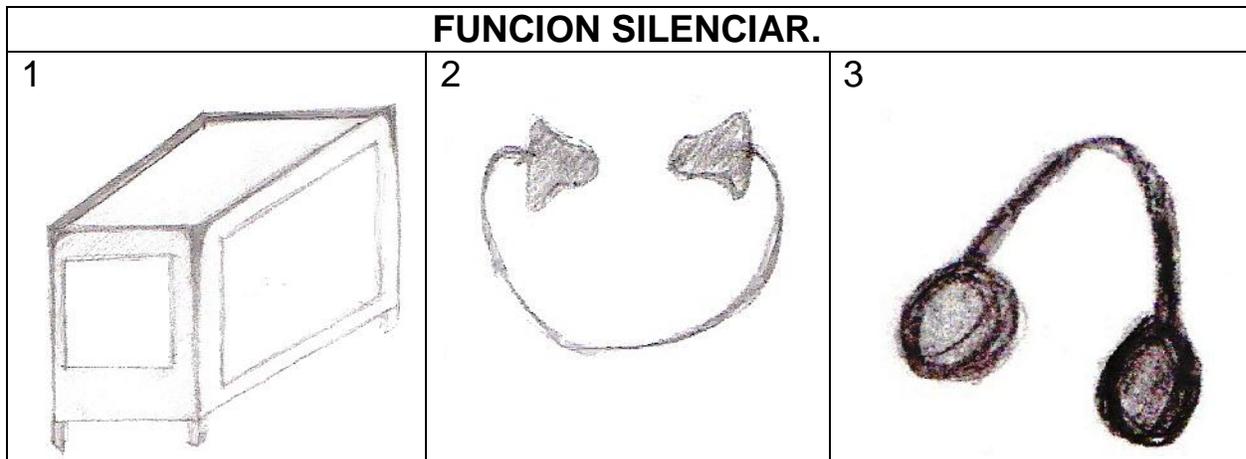
FUNCION CORTAR. SUBFUNCION ACERCAR.		
1	2	3

FUNCION CORTAR. SUBFUNCION CORTAR.					
1	2	3	4	5	6



FUNCION CORTAR. SUBFUNCION TRITURAR		
1	2	3
	4	





Por medio de estos bocetos nos planteamos una idea clara de cómo funcionaría cada elemento, y de cómo funcionaría el equipo con estas opciones, nosotros escogeremos cual tiene mejores beneficios con respecto a las demás opciones, de esta manera la descripción de cada una de ellas se muestra a continuación.



En forma de lista analizamos cada uno de las opciones de la función de recibir, es la que permitirá un mejor control de los materiales a la entrada del proceso para ello tenemos:

- Tolva. Es una forma de contener los materiales a procesar que recibirá el equipo, de modo que se tiene la certeza que el material llegara a ser procesado.
- Banda transportadora con peldaños. Un mecanismo para el traslado de materiales a distancias largas y así nos permitirá que sea un proceso continuo.
- Rampa. Permitirá el fácil descenso de los materiales, que estuvieran es un estancia elevada, con el simple hecho de colocarlo al principio de este mecanismo el material descenderá para su procesamiento.
- Rodillos. Con este mecanismo obtenemos el beneficio de compactar el material reciclado en pacas comprimidas lo que permitirá el manejo de los residuos.
- Brazo mecánico. Un elemento que por el manejo de grandes cantidades sería una buena opción, lo cual ahorraría tiempo y esfuerzo.
- Manualmente. Es una forma que el material llegue a su destino pero de manera poco factible, porque sería en cantidades menores y para un proceso discontinuo.

En la siguiente función de cortar se divide entre 3 etapas la primera será la de acercar el material a su destino, sin necesidad de tolva u otro aditamento, de igual forma tenemos varias opciones como:

- Banda transportadora. Esta opción logrará acercar el material a su destino por medio de un mecanismo unido al proceso de corte, con el solo hecho de colocar el material podrá llegar a su destino.



- Tornillos sin Fin. Otro aditamento que puede estar acoplado al sistema de corte y de esta manera aproximar el material, de manera homogénea y en distancias largas.
- Ganchos. Este dispositivo puede estar incrustado con todo el sistema de cuchillas permitiendo acercar los materiales a procesar.

Las opciones de **corte**, son diferentes una de la otra, esto permite analizar cada una de ellas para ajustar la más correcta a nuestro equipo a continuación se muestran cuales son las diferentes opciones:

- Cuchillas rotatorias. Aquí se muestran varias propuestas pero con un mismo funcionamiento, son modelos rotatorios, que a base de cuchillas empotradas a un eje (móvil), hacen el movimiento de giro y realizan el corte con la contraparte de cuchillas fijas en la estructura.
- Discos de cantos afilados. En esta opción la prioridad que tenemos, a considerar es el filo de estos discos, lo cuales tienen el objetivo de corte, por medio de movimiento giratorio.
- Prensa hidráulica con rejilla. Es un mecanismo que cuenta con un sistema de hidroneumática, que acoplado a un eje de dirección, podrá moverse en dirección vertical generando una fuerza de descenso que permitirá impactarse con una rejilla metálica, provocando el corte de materiales.
- Hélices helicoidales con filo. Es otro dispositivo, que por medio de hélices con filo y haciéndolas girar dentro de un cilindro, permitirá el corte de los materiales.
- Cilindros de giros opuestos. Nos hace recordar aquellos molinos de maíz antiguos que actualmente aún son utilizados, podemos tomar esa propuesta, modificándola un poco, esto funcionaría de la siguiente manera; a base de cilindros dentados girando uno con respecto del otro en sentido opuesto, en un cilindro en sentido horizontal.



- Guillotina. Esta idea salió, de una propuesta que se remonta más o menos al siglo X, es un mecanismo que por medio de una navaja móvil y una fija, realiza un movimiento descendiente para cortar el material.
- Tijeras. Una propuesta que la mayoría de personas pueden manejarlas, y consta de 2 navajas encontradas entre si realizando movimientos de abrir y cerrar la mano, obteniendo un resultado satisfactorio.
- Discos Dentados. Un dispositivo que podrá realizar el corte de material por medio de unos discos dentados que estarán en un eje realizando movimientos circulares, para hacer el corte del plástico.

Cortar el material, también se puede llevar a cabo por medio de una función implícita como es la de triturar, por eso podemos considerar estas opciones, que pueden ampliar y enriquecer el proyecto, pero se necesita evaluarlas para ver si cumplen con los requerimientos , como se explica a continuación: implica volver a cortar el material cuando este desciende del paso anterior, y vuelve a ser procesado para obtener las partículas necesarias, logrando el objetivo deseado, se muestran las siguientes opciones:

- Álaves a altas rpm. Sería un mecanismo que estaría compuesto por medio de álaves en diferentes posiciones, que giraran a una gran velocidad haciendo el trabajo de triturar el plástico ya obtenido, para reducir las dimensiones del material.
- Cadena de corte. Este prototipo nos permite imaginar un corte mediante unas cadenas afiladas colocadas en una hoja metálica para el deslizamiento de la misma que sería movida por motores y engranes, para realizar el recorte del plástico.
- Engranés. Son una opción, se trabajaría por medio de engranes múltiples entrelazados y ajustados en varios ejes, su importancia radica en que permitiría procesar los materiales más duros y resistentes.



- Rodillos Astriados. Un prototipo muy ambicioso, el cual trabaja por medio de rodillos astriados a altas velocidades, permitiendo la tritución de material de manera rápida, pero provocaría el calentamiento del plástico lo cual es un problema, por lo que se requerirá de un refrigerante, como el agua, pero sería una buena opción.

De manera que al haber concluido el análisis de todas estas opciones para el corte y la tritución del material pasaremos al siguiente paso la expulsión de los residuos y de la misma forma se analizará cada una de las propuestas para llevar a cabo este proceso como se especifica a continuación:

- Compresor. Este elemento puede ser de utilidad para expulsar los residuos de manera uniforme, por medio de presión de aire la cual va estar ejercida por un equipo que nos proporcione las características deseadas, esto también permite no obstruir la salida del material restante.
- Aspiradora. Dispositivo para el desalojo de material por medio de la succión de material por medio de aire hacia los contenedores.
- Caída libre. Es una opción consecuente de la acción de cortar que se tendría que considerar en la máquina misma, en la que el material caerá por inercia pero de manera lenta, y en este aspecto podemos imaginar que tendríamos un problema, ya que se sobresaturaría la cámara de corte e impediría el descenso del material.
- Vibración de corte. Es una manera lógica de que el material caiga por la fuerza de gravedad y el movimiento del proceso. Sería otra opción.

Saliendo de este paso y de los anteriores tenemos una función que permite la selección de material, mismo que debe tener dimensiones dentro de un rango ya establecido, así tenemos las opciones que se describen de la función de separar:



- Rejilla metálica. Una opción para la separación de residuos, manufacturada con diferentes materiales como el metal, plástico y saco de fibra de vidrio (costal) el cual estará en la parte inferior del equipo para la separación del granulado.
- Líquido. Es una propuesta que se sustenta en el comportamiento de varias sustancias que se separaran por su diferencia de densidad.
- Aire. Otra perspectiva de separación de residuos para lograr el apartar las partículas de mayor dimensión de las de menor dimensión.
- Manualmente. Una opción irónica pero válida separar el material no implica dispositivos o maquinarias, solamente una persona que este escogiendo el material de mayor a menor.

La función que sigue es almacenar material ya procesado, para su embalaje y fuera de contaminación por otros residuos que pueden provocar un comportamiento diferente para un proceso futuro y tenemos varias alternativas que son:

- Contenedor. Una opción para aglomerar los residuos que saldrán de todo el proceso y que permite trasladar el material, para esto tenemos varias opciones de contenedores, metálicos, plásticos, madera etc.
- Envasado directo. Sencillamente consistiría en realizar pacas de diferentes tamaños para su almacenamiento.
- Sin contenedor. Esta sería un opción que permite utilizar el material arrojado por la maquina directamente a un nuevo proceso.

La función silenciar es la que permite reducir las emisiones de ruidos al ambiente para esto se toma en cuenta las opciones como:

- Caja anti-ruido. Es una manera de encerrar el ruido que produce el equipo, por medio de una caja acústica que desvíe o disminuya los decibeles.



- Tapones Auditivos. Sencilla y práctica para la protección de los oídos durante el manejo del equipo.
- Orejeras. Un método más para la protección del personal.

Así se muestra lo que se pretende conseguir con cada una de las funciones ya detalladas al igual que las opciones que se muestran en la tabla 2.1 para poder proyectar parámetros de evaluación y determinar la funcionalidad del equipo.

2.4.1 Consideraciones de Evaluación.

Este apartado es vital para la toma de decisiones con respecto a la viabilidad de los elementos que conformarán el equipo, de manera que se toman los requerimientos del cliente y las especificaciones de ingeniería, para evaluarlos antes de ser considerados para el equipo. Se muestran a continuación las consideraciones de evaluación.

Desempeño Funcional. Que el equipo sea capaz de obtener los resultados requeridos por el cliente, para lo cual será diseñado.

Restricciones especiales. Debe de contar con el espacio y preparaciones dentro y fuera del equipo para el montaje de las piezas.

Tiempo. Permite la evaluación de cada elemento que tendrá lugar en el equipo.

Manufactura. Características de importancia ya que depende la complicación que tiene cada pieza en cuanto a los procesos de fabricación.

Ensamble. En cuantas operaciones y como se acoplan los elementos del equipo para su armado y funcionamiento.

Materiales. Estudiar los diferentes materiales con los que se elaborará cada una de las piezas del equipo.

Mantenimiento. Se trata de una revisión periódica del equipo, demostrando el trabajo correcto del mismo.



Seguridad. Es parte esencial en cualquier parte del equipo que se diseña, y los factores que se deben cuidar, permitirá la integridad del personal y del propio equipo.

Costo. Prácticamente esta consideración siempre es de interés debido a la restricción de recursos económicos, lo que nos lleva a revisar los factores anteriores y tomar en cuenta los materiales, los procesos de manufactura y la funcionabilidad, con esto lograremos el mejor aprovechamiento de los mismo.

Sobre la base de estos términos del diseño conceptual las consideraciones de evaluación, podemos relacionar una con respecto de la otra, para tomar las decisiones correctas sobre las funciones, subfunciones y opciones de cada una de ellas, de manera que debemos realizar una matriz de decisión como se muestra en la tabla 2.2.

Para la evaluación de las diferentes opciones del equipo, se debe proporcionar valores o parámetros, a las propuestas que se formularon y demostrar la viabilidad de hacer estos tipos de ejercicios para lograr tomar decisiones más acertadas, los valores o parámetros a considerar son los siguientes:

1. Cumple con las especificaciones.
2. Mejora considerablemente los requerimientos
3. Su desempeño es la mejor opción, con respecto a las otras 2 anteriores.

Función.	Subfunción.	Opción.	Desempeño funcional	Restricciones Espaciales	Tiempo	Manufacturación	Ensamble	Materiales	Mantenimiento	Costo	Seguridad	Evaluación	
RECIBIR	Opción 1 (Tolva)		1	1	2	3	3	3	2	2	1	<u>18 A</u>	
	Opción 2 (Banda T)		2	1	1	1	1	1	1	1	2	11	
	Opción 3 (Rampa)		1	1	1	2	2	2	2	1	1	13	
	Opción 4 (Rodillos G.)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
	Opción 5 (Brazo M.)		2	1	1	1	1	1	1	1	3	12	
	Opción 6 (Manual)		3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	13
CORTAR	ACERCAR	Opc. 1 (Banda T)	1	1	1	1	1	1	1	1	2	10	
		Opc. 2 (Tornillo)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	10
		Opc. 3 (Ganchos)	1	2	1	1	1	1	1	1	2		<u>10 A</u>
	CORTAR	Opc. 1 (Cuchi. R)	1	1	1	1	1	1	1	1	2		<u>11 A</u>
		Opc. 2 (Discos)	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	11
		Opc. 3 (Prensa)	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	11
		Opc. 4 (Hélices)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
		Opc. 5 (Cilindro)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
		Opc. 6 (Guillot.)	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	11
		Opc. 7 (Tijeras)	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	11
		Opc. 8 (Disc. D.)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
	TRITURAR	Opc. 1 (Álaves)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
		Opc. 2 (Cadena)	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	10
		Opc. 3 (Engran.)	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	10
		Opc. 4 (Rodillos)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	EXPLUSAR	Opc. 1 (Comp.)	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	10
Opc. 2 (Aspirad.)		1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	10	
Opc. 3 (Caída L.)		2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	<u>12 A</u>	
Opc. 4 (Vibra.)		1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	11	
SEPARAR	Opción 1 (Rejilla)		3	1	1	1	1	1	1	1	1	<u>11 A</u>	
	Opción 2 (Líquidos)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
	Opción 3 (Por Aire.)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
	Opción 4 (Manual)		1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	10
ALMACENAR	Opción 1 (Cont)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
	Opción 2 (S/Cont)		1	1	2	2	1	1	1	2	1	<u>12 A</u>	
	Opción 3 (Env. Direct)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
SILENCIAR	Opción 1 (Caja Ant.)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
	Opción 2 (Tap. Aud.)		2	2	1	1	1	1	1	2	1	<u>12 A</u>	
	Opción 3 (Orejeras)		2	2	1	1	1	1	1	2	1	12	

Tabla 2.2 Matriz de decisión. *Fuente: Elaboración Propia



Teniendo la evaluación y el análisis de los elementos acentuaremos que las calificaciones más altas no necesariamente son las mejores, pero marcamos las opciones aceptables con la letra **A**, debido a esto se tendrá que explicar cuáles son los motivos para seleccionar una opción de menor puntuación, de manera que las explicaciones se muestran a continuación:

Recibir. En este marco se optó por la opción que tuvo mejor desempeño ante los otros elementos, porque tiene varios puntos a favor como el costo, la manufactura el ensamble, etc., cuyos factores se analizaron y determinaron que la opción más idónea es la tolva.

Acercar. Aquí en esta opción la evaluación fue de manera equitativa, por lo cual una de las mejores opciones que pudiéramos escoger sería la banda transportadora por su seguridad, ya que sería un dispositivo que proporcionaría ventajas en la simplificación del acercamiento de material, con una mayor seguridad, pero que tenía un mayor costo en la manufactura, por lo cual no se descarta por completo, la opción número 3, tiene una similitud con el dispositivo de corte, me parece que al involucrar los dos dispositivos tendremos una mejor eficacia en nuestro proceso.

Cortar. En esta función se evaluaron diferentes opciones con las calificaciones más altas, éstos son los discos con cantos afilados y las cuchillas rotatorias, son dispositivos que nos proporcionan las mejores expectativas, para el diseño, el trabajo que desempeñará y el costo. Ante otros equipos como el de la prensa hidráulica con rejilla, que es un elemento sumamente competente, y en ciertas características proporciona mejores resultados, un elemento con grandes capacidades de procesamiento que en aspectos industriales sería de gran utilidad, con el fin de elegir una opción de las anteriores nos inclinamos por las cuchillas rotatorias que a su vez hay diferentes alternativas de diseño, la escogeremos posteriormente cuando ya tengamos una evaluación a detalle.



Triturar. Esta opción fue analizada minuciosamente, por la siguiente circunstancia, el corte del material se llevará a cabo por medio de la función cortar cuyo proceso sería único, el hecho de triturar más los residuos surge por que necesitaríamos las hojuelas a una menor dimensión, para un post-procesó, imaginamos que el corte sería el más idóneo sin tener la necesidad de volverlo a cortar. Esto permite anular este dispositivo, pero acordando que las hojuelas tengan un diámetro mayor de lo establecido, se considera dicha opción.

Expulsar. Las calificaciones obtenidas, para esta función, son casi semejantes y analizando las opciones de mejor puntaje, optamos por que fuera la caída libre del material, debido a que no se necesita un aditamento extra, lo cual reduce el costo o el tiempo de manufactura a comparación de las demás, y es la opción de mejor aceptación para este equipo.

Separar. Aquí la opción que está arrojando la tabla nos muestra que sería la rejilla metálica, puesto que las otras no tienen la capacidad suficiente de separación de partículas a grandes cantidades y que el costo sería menor, por tanto la mejor opción.

Almacenar. Aquí influye un factor para el acumulamiento del material, el cual tendría dos vertientes, la importación o la utilización del material en ese momento, considerando la importancia el traslado es la opción de mejor resultado, como los contenedores o el envasado directo, pero si podemos que aprovechar un proceso directamente sin contenedor. Es más eficiente, por ello se tiene que ver las particularidades del manejo de los residuos.

Silenciar. Aquí por factibilidad se optó por tapones para evitar que el ruido tenga efectos secundarios sobre el personal, pero la caja para la disminución de ruido será la más propia y la que tiene mejor evaluación, debido a que tiene otras ventajas, y que permite mantener el ruido a bajos niveles en todo el espacio de trabajo.



Debido a los análisis que se realizaron de las funciones y respectivas opciones nos dan una mejor vista de cómo quedaría nuestro equipo, de manera que imaginamos como funcionaría, en el siguiente capítulo se analizarán los diferentes factores que se tomaron en cuenta, como el tipo de pieza, el material, el costo, etc. También damos paso a los cálculos para darle una mejor presentación a nuestro equipo, pero sobre todo que además son indispensables para su buen funcionamiento.



CAPÍTULO 3

DISEÑO DETALLADO.



3.1 Introducción a los elementos de nuestro equipo.

Asumiendo las funciones de nuestro equipo, nos encaminamos al paso siguiente, definir las propiedades de cada elemento, para obtener mejores resultados, de una manera que sabremos de que materiales estará constituido el equipo cuales tendrán que llevar un tratamiento especial y los que no requieren ello, de la misma forma determinaremos los parámetros de cada elemento.

Para esto nos apoyaremos en algunos libros, catálogos, manuales, apuntes, como parte de referencia para el comportamiento de los materiales, pero sin dejar a un lado las propiedades de los plásticos ya que serán los que se procesarán.

Todas aquellas partes que se apreciaron en el capítulo anterior, en dibujos o bosquejos, permitirán un diseño más complejo mediante software en la computadora debido a que nos permitan hacer un análisis de las mismas piezas, comportamiento de materiales y ensamblajes de las piezas que constituirán el equipo además nos proporcionan una gran facilidad de manejo de piezas en forma virtual y un desarrollo más idóneo en aquellas que se requiera un maquinado, debido a esta ayuda obtendremos mejores resultados en nuestros prototipos, mejoraremos la visualización permitiendo dar dimensiones, formas y parámetros a cada decisión sobre la base de nuestra matriz.

3.2 Selección del Motor.

Para poder seleccionar el motor necesitamos saber las propiedades mecánicas del plástico a cortar y determinar el par motor del equipo a utilizar, por ello se muestra la siguiente tabla.

POLIETILENTEREFTALATO				
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm ²	D-638	53455	900 / --
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm ²	D-695	53454	260 / 480
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm ²	D-790	53452	1450
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	Kg.cm/cm ²	D-256	53453	> 50
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	15
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm ²	D-638	53457	37000
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	85 - 87
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MUY BUENA

Tabla 3 Propiedades mecánicas de plástico PET

A partir de los valores arrojados en la tabla 3, podremos determinar las propiedades que debe de tener nuestro eje principal del equipo, el cual corresponde al motor, se determinará la capacidad del mismo mediante las investigación de diferentes equipos disponibles en el catalogo de siemens³, los Motores monofásicos de uso general con arranque por capacitor de 2 y 4 polos. Este tipo de motor, figura 3, está diseñado con un alto par de arranque y baja corriente de arranque, para aplicaciones que requieren arranque con carga, se suministran con rodamientos de bolas, para soportar las cargas radiales debido al empleo de bandas “V” para la transmisión.

El establecer la selección de estas capacidades de los motores implica cumplir con una de las especificaciones iniciales, que es la de recurrir a un equipo de bajo costo, ahora bien, esto no significa que no se puedan utilizar otro tipo de capacidades,

³ Fuente: Catalogo General SD03 2005 Siemens, www.siemens.com.mx

Potencia CP	Peso Kg	Velocidad nominal r.p.m.	Tensión nominal A	Corriente nominal A	Corriente a F.S. A	Longitud mm
1.0	15.4	1745/1720	127/220	16/7.4	16.9/8.2	313
1.5	14.3	1740/1720	127/220	13.8/7.2	15.2/8.3	313
2	15.4	1730/1710	127/220	18.2/9.6	-	313
3	-	3600	127/220	23.5/13.8	-	-
3	-	1800	127/220	31.2/15.2	-	-
5	-	3600	220	21.0	-	-
5	-	1800	220	25.3	-	-

Tabla 3.1. Especificaciones de motores monofásicos. Catalogo General SD03 2005 Siemens

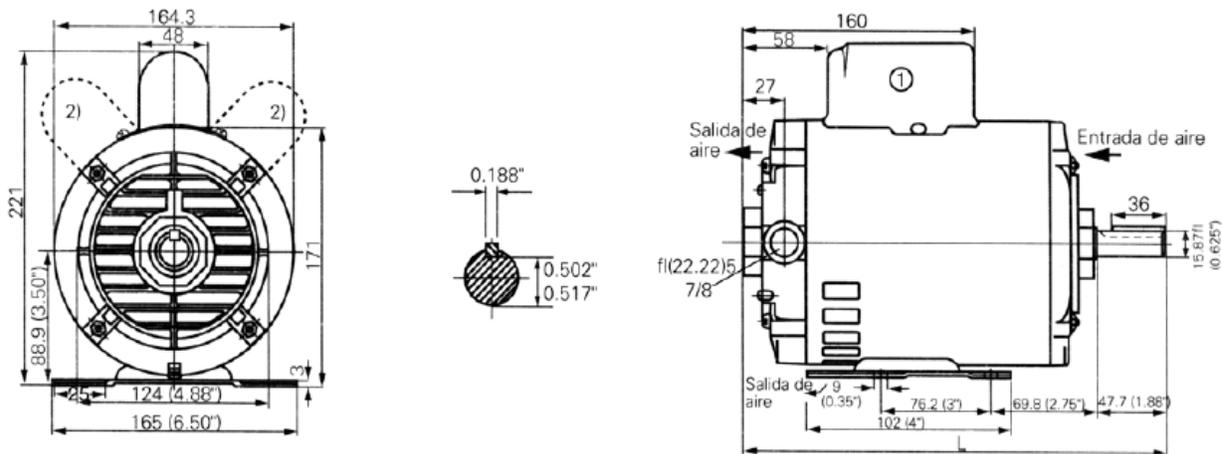


Figura 3 Dimensiones de un motor de 3 hp con dos capacitores, de arranque y de trabajo.

Al analizar la tabla 3.1 se puede observar que la máxima potencia que podría suministrar un motor de c.a. hasta una tensión de 127/220 volts⁴ es de 3hp por lo que solo restará realizar el cálculo del par de torsión entregado por el motor y los momentos torsionantes generados por los rotores, para determinar el diámetro de la flecha del molino.

⁴ Tensión nominal común en un predio casa-habitación para la República Mexicana.



En la tabla 3.2 se puede apreciar el cálculo de la potencia, la velocidad angular y el par torsionante generado por los diferentes tipos de motor existentes en el mercado, dependiendo de su capacidad y del número aproximado de revoluciones, se disponen de bajas o altas revoluciones, en este caso en particular se observa que el motor de 3 HP @ 1800 RPM tiene un mayor par de torsión que los de altas revoluciones, además de que se adapta a la necesidad de poder acoplarse a la red eléctrica doméstica común sin ninguna restricción. Este cálculo se desarrolló mediante:

$$P = Tw \quad (3-1)$$

P = Potencia

T = par torsionante

w = velocidad angular

Capacidad del motor HP	Revoluciones RPM (Nominales)	P pies*libra/seg	w rad/seg	T pies*libra
2	1800	1100	188.4	5.84
3	1800	1650	188.4	8.76
3	3600	1650	376.8	4.38
5	1800	2750	188.4	14.60
5	3600	2750	376.8	7.30
10	1800	5500	188.4	29.19

Tabla 3.2 Cálculo de los pares de torsión entregados por un motor eléctrico dependiendo de la capacidad del mismo.

Teniendo ya los cálculos, podemos determinar que el motor será de la capacidad de 3 hp en bajas revoluciones, de esta manera damos seguimiento a los demás complementos de nuestro equipo.



3.3 Sistema de transmisión para el movimiento del eje.

Debidamente especificado el motor, vemos la necesidad de transmitir el movimiento debido a esto se pretende tener un sistema de banda, ya que por medio de engranes, o cadena, podemos tener consecuencias secundarias como el costo y el tiempo de reposición, y mediante las bandas “V” como se muestra en la figura 3.1, tenemos repuesto inmediatamente. Por supuesto se tendrán que tener programas de de inspección el cual nos permite la protección contra el desgaste, el envejecimiento y la pérdida de elasticidad.

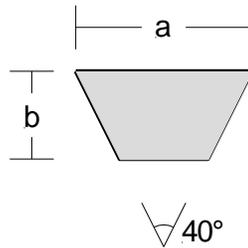


Figura 3.1 sección de una banda en V

Sección de la banda	Ancho a, pulg	Espesor b, pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencia (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 o mayor

Tabla 3.3 Secciones de bandas en V estándar⁵.

⁵ Shigley, Joseph E., Diseño en Ingeniería Mecánica, 2002, México, Mc Graw-Hill.



Para especificar una banda en (v) se necesita de la letra de la sección de la banda (determinado por la selección que se haya determinado de la(s) polea(s)) y la circunferencia interior en pulgadas.

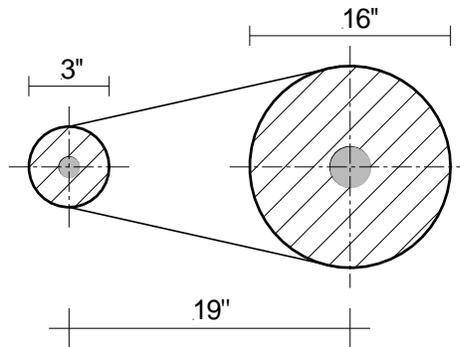


Figura 3.2 Transmisión de movimiento mediante banda no inversora.

La determinación del número de bandas a utilizar se define mediante la relación: $\frac{H_d}{H_a}$

donde H_a es la potencia permitida por cada banda y H_d es la potencia de diseño. La experiencia en los procesos de diseño aunada a la tabla 3.3 permiten tomar la decisión de utilizar bandas (V) de sección B, que son las más utilizadas en la industria a nivel de maquinaria de trabajo ligero y medio. Para este diseño se proyectan dos bandas B51 con lo que se supera por mucho alguna perdida por deslizamiento en las poleas, como se indica en la Figura 3.2, además de que garantiza una mejor transferencia de la potencia del motor, la cual será transmitida a los ejes y cuchillas para hacer los cortes de material.

3.3.1 Sistema de corte del material.

A partir de estos primeros datos, como un proceso natural, se puede continuar con el cálculo de otros elementos como la flecha que será el soporte fundamental de este molino, en esta etapa, así se podrá proceder a realizar un análisis de cuerpo libre



para determinar su diámetro. Primero se determinarán los pares de torsión a los cuales se someterá la flecha, uno de ellos se encuentra determinado por el par que entrega el motor y la combinación del diámetro de la polea del motor y el diámetro de la polea receptora y así encontrar el par total que finalmente recibirá la flecha por parte del motor.

Una combinación de diámetros de poleas existente en el mercado nos permitirá obtener un reducido número de r.p.m.'s que favorecerá a generar pares de torsión más altos que para la función de triturar resultan atractivos por el trabajo a desarrollar. La tabla 3.4 muestra dichas combinaciones.

Capacidad del motor HP	r.p.m. del motor	diámetro de la polea del motor	diámetro de la polea receptora	r.p.m. de la polea receptora	P pies*libra/seg	W rad/seg	T pies*libra	Diámetro de la flecha pulg.
3	1800	3	6	900	1650	94	18	0.37
3	1800	3	8	675	1650	71	23	0.41
3	1800	3	10	540	1650	57	29	0.44
3	1800	3	12	450	1650	47	35	0.46
3	1800	3	14	386	1650	40	41	0.49
3	1800	3	16	338	1650	35	47	0.51
3	1800	3	18	300	1650	31	53	0.53
3	1800	3	20	270	1650	28	58	0.55
3	1800	3	22	245	1650	26	64	0.57

Tabla 3.4 Cálculo de las r.p.m.'s finales en función de la combinación de poleas del motor y receptora para el cálculo de los nuevos pares torsión.

El cálculo de las revoluciones finales entregadas al eje, se obtuvo mediante la relación de transmisión:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{w_1}{w_2} \tag{3-2}$$

$$w_2 = \frac{w_1 d_1}{d_2} \tag{3-3}$$

Donde: d_1 = diámetro de la polea del motor
 d_2 = diámetro de la polea receptora



w_1 = velocidad angular del motor

w_2 = velocidad angular de la polea receptora

Así mismo como se conoce la potencia del motor y la frecuencia de rotación de la polea receptora, el par de torsión desarrollado en la flecha puede determinarse con la ecuación 3.1 esto es, $T = \frac{P}{w}$, y como $w = 2\pi f$ entonces $T = \frac{P}{2\pi f}$, conociendo T y el

esfuerzo cortante permisible para el material τ_{perm} , podemos determinar el tamaño de la sección transversal de la flecha usando la fórmula de la torsión, siempre que el comportamiento del material sea elástico-lineal. Específicamente, el parámetro

geométrico o de diseño $\frac{J}{c}$ es:
$$\frac{J}{c} = \frac{T}{\tau_{perm}} \quad (3-4)$$

Para una flecha sólida donde J es el momento polar de inercia del area de la sección

transversal, $J = \left(\frac{\pi}{2}\right)c^4$, y entonces al sustituir, puede determinarse un valor único

para el radio c de la flecha. Así el acero AISI 1018 (cold rolled) con una resistencia a la fluencia $S_y = 53700$ psi, tiene un $\tau_{perm} = 0.40S_y$, esto quiere decir que $\tau_{perm} = 21480$

psi en promedio, con lo que se genera un abanico de posibilidades que se muestra en la última columna de la tabla 3.4. Además del factor de seguridad incluido en el esfuerzo permisible se decidió que el diámetro final de la flecha sea de 1 pulgada de diámetro y así asegurar que el elemento no falle.

Definido el material y el diámetro de la flecha el siguiente elemento a calcular es el rotor del molino, el cual como se pudo apreciar en la etapa de conceptualización consiste en un conjunto de cuchillas que irán montadas en un eje, lo que permitirá realizar el corte.



La configuración de este elemento depende principalmente del diámetro de corte y de las características de los materiales a procesar, como se muestra en la tabla 3.5 la mayor parte de estos productos plásticos tienen dimensiones reducidas lo que permite definir círculos de corte no mayores a los 160 mm. (6.5 in.) Figura 3.3. Existen diferentes configuraciones en el rotor dependiendo del número de cuchillas que contenga, esto implicará que los volúmenes efectivos de trabajo variarán, entre mayor sea el número de cuchillas el área de corte disminuirá.

Tipo de plástico	Producto recuperable
Polietileno de baja densidad (PEBD)	<ul style="list-style-type: none">✓ Sacos de fertilizantes✓ Bolsas para la basura✓ Bolsas para leche✓ Bolsas de supermercado✓ Envases✓ Juguetes✓ Garrafones de agua✓ Garrafas de aceite
Polietileno de alta densidad (PEAD)	<ul style="list-style-type: none">✓ Bolsas✓ Envases✓ Botellas para leche y aceite✓ Envases varios
Polipropileno (PP)	<ul style="list-style-type: none">✓ Envases✓ Tapas de envases✓ Menaje✓ Juguetes✓ Sacos para azúcar, maíz etc.✓ Film orientado y sin orientar
Poliestireno (PS)	<ul style="list-style-type: none">✓ Embalajes para juguetes✓ Embalajes para pescado, frutas, medicamentos, perfumes✓ Envases para margarinas, yogurt y postres.✓ Juguetes
Cloruro de polivinilo rígido (PVC)	<ul style="list-style-type: none">✓ Botellas para aceite, agua y limpiadores✓ Garrafones de agua
Cloruro de polivinilo plastificado (PVC)	<ul style="list-style-type: none">✓ Recubrimientos para papeles, carpetas etc.
Polietilentereftalato (PET)	<ul style="list-style-type: none">✓ Botellas para bebidas refrescantes, agua y aceites



Tabla 3.5 Productos plásticos recuperables.⁶

⁶ LEZAMA RUIZ, Jeimy M. Diseño integral de una planta para realizar el proceso de reducción de volumen de papel, plásticos y envases de vidrio y metal para el municipio de Melgar. Bogotá, 1999. Universidad de América.

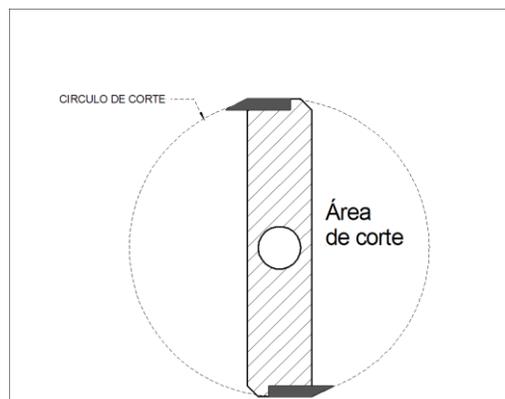


Figura 3.3 Representación del círculo de corte y del área de corte para una configuración del rotor con dos cuchillas.

En otro sentido el número de cortes por cada minuto aumentará considerablemente pero las áreas y volúmenes efectivos de trabajo se reducirían, así la elección de un número determinado de cuchillas se analiza en la tabla 3.6.

Configuración de cuchillas	Área del rotor ($in^2 - mm^2$)	Área de corte ($in^2 - mm^2$)	Espacio entre cuchillas (in-mm)	No. de cortes por minuto
	8.21 - 5297	20.5 - 13226	6 - 152.4	1352
	12.3 - 7936	15.97 - 10303	5.1 - 129.5	2028
	16.4 - 10581	11.87 - 7658	4.2 - 106.7	2704
	20.5 - 13226	7.77 - 5013	3.5 - 88.9	3380

Tabla 3.6 Configuraciones de rotor en función del número de cuchillas y su relación entre las áreas de corte y el número de cortes por minuto (C.P.M.). *Fuente: Elaboración Propia

La elección del número de cuchillas que contenga el rotor se determina mediante el análisis de varios factores que incluyen los espacios entre cuchillas, el número de cortes por minuto y los cortes simultáneos, es entonces que la elección de un rotor con tres cuchillas se justifica en un sentido en el que el espacio entre cuchillas es de 5.1 pulgadas (129.5 mm.) una botella de refresco (PET) sin compactar tiene un diámetro de 4 pulgadas lo que nos indica que podría introducirse sin problemas, para hacer más eficiente el corte se pretende colocar dos cuchillas fijas a 180 grados, para que los trozos de material que no cumplan con las dimensiones definidas puedan volver a procesarse por lo que las opciones de configuración de 2, 4, 6, etc. cuchillas requerirían de un trabajo duplicado ya que dos cuchillas estarían realizando la función de cortar simultáneamente, así la opción de 5, 7, 9, etc. cuchillas tienen un atractivo nivel de cortes por minuto sin embargo se reduce considerablemente las áreas de corte. La configuración geométrica final del rotor, figura 3.4, también tiene que estar sometida a posteriores análisis de concentración de esfuerzos para lograr resistencias que permitan garantizar que el elemento resistirá las continuas cargas de impacto y las vibraciones de la maquina, ya que en combinación con el efecto de impacto puede ser nocivo y peligroso.

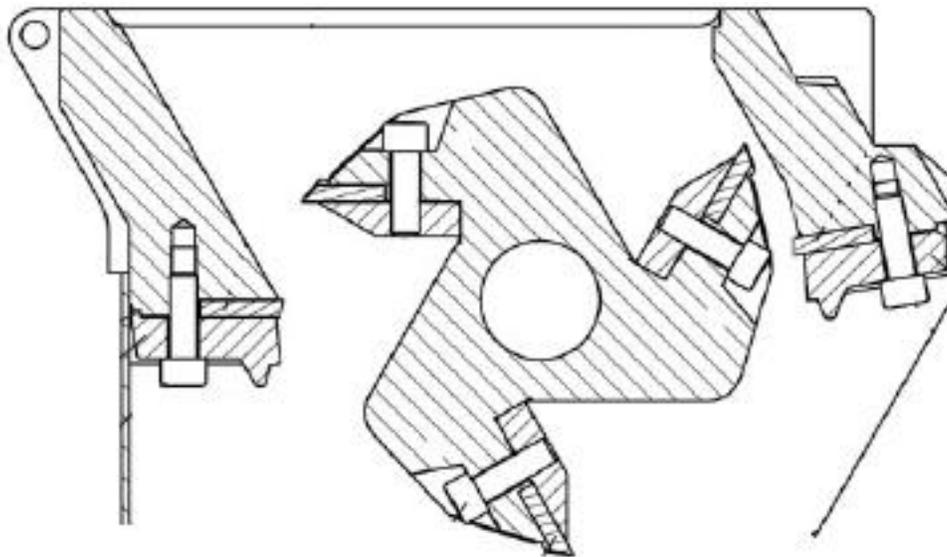


Figura 3.4 Ensamble del conjunto de cuchillas y rotor.



La definición de las cuchillas se determinará mediante la selección de los materiales a utilizar en su construcción y del análisis de esfuerzos que intervengan en su funcionamiento. Así, recurriendo a los catálogos de aceros disponibles encontramos el acero D2 HCHC (alto carbono y alto cromo)⁷, dentro de sus características encontramos que es dimensionalmente estable, tiene buen rendimiento al corte y gran resistencia al desgaste, dentro de sus aplicaciones comunes está precisamente la aplicación para cuchillas de molino de plástico⁸. Los datos referentes a pruebas de tensión no están disponibles, sin embargo la experiencia en el manejo de este tipo de acero refieren que soporta cargas de compresión por encima de las 400,000 psi (2758 Mpa) esto significa que resiste eficientemente cargas de impacto por debajo de estos valores⁹. La geometría de las cuchillas deberá de permitir cortes con la menor cantidad de esfuerzo por parte de la herramienta por lo que será de suma importancia considerar principios básicos de corte como el cizallamiento, de la misma forma se considera el afilado de las cuchillas siendo este, de una complejidad baja para que pueda realizarse sin equipo especializado figura 3.3. Un ángulo de 45° en la cuchilla móvil garantiza un corte muy similar a como podría presentarse en una cizalla con movimiento lineal, además de que favorece su afilado.

Posterior al corte se encuentra un dispositivo separador de las partículas que permitirá reducir el rango de los tamaños de las mismas, logrando así que su procesamiento posterior pueda realizarse en las mejores condiciones posibles, los tamaños pueden llegar a variar desde $\frac{1}{16}$ pulg. (1.58 mm.) hasta $\frac{5}{8}$ pulg. (15.8 mm.), esto implica que los tiempos de producción se reducirán debido a que se necesitará de un mayor número de cortes para lograr estas reducciones.

⁷ Carbono	Manganeso	Fósforo	Azufre	Silicio	Cromo	Molibdeno	Vanadio
1.50	0.50	0.035 máx.	0.040 máx.	0.30	12.00	0.80	0.90

⁸ Aceros SISA S.A. de C.V., Catálogo técnico, SISA, México, 2007.

⁹ Carpenter Steels, Alloy Data No. 610 Tool steel (AISI D2, UNS T30402), CRS Holdings Inc., 2006



3.4 Separador de residuos.

La propuesta original dentro del análisis funcional no incluyó un separador de partículas, para aquellas que no cumplan con cierta homogeneidad, ya que idealmente el molino cortará los plásticos que pasen por él, sin embargo tras una reflexión más realista sería conveniente para el proceso posterior que dichas partículas tengan una dimensión máxima y así evitar contratiempos en el procesado total de los plásticos. Así, una forma sencilla de realizar esta función es mediante una criba de media circunferencia con perforaciones de diámetro definido y de una tolerancia mínima al círculo de corte para lograr que aquellos trozos de material que no pasen por la criba se vuelvan a cortar hasta que alcancen las dimensiones del separador.

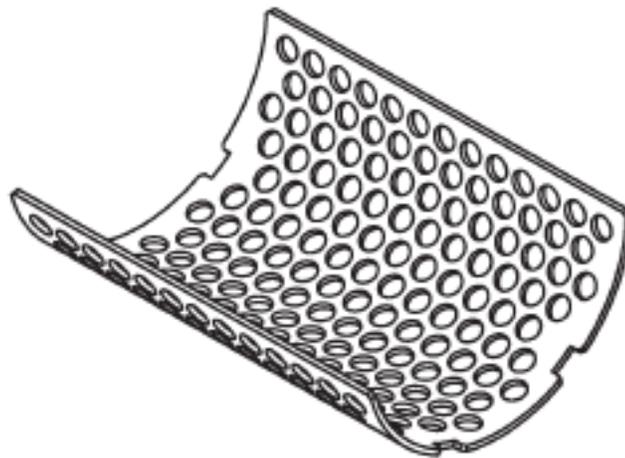


Figura 3.5 Elemento separador de partículas “criba” (los diámetros de las perforaciones pueden variar dependiendo del tipo de material a procesar.



3.5 Armazón del equipo.

La estructura que soportará a cada uno de los componentes será construida con acero estructural al carbono A36 que es un “acero de propósitos generales con calidad estructural para su uso en diversas aplicaciones: puentes, edificios etc., se puede remachar, atornillar o soldar”¹⁰.

Producto	Forma ^A	Placas ^B					Barras			
		hasta ¾ (20)	Desde ¾ hasta 1 ½ (20 a 40)	Desde 1 2 ½ (40 a 65)	Desde 2 ½ hasta 4 (65 a 100)	Mayor a 4 (100)	hasta ¾ (20)	Desde ¾ hasta 1 ½ (20 a 40)	Desde 1 ½ hasta 4 (100)	Mayor a 4 (100)
Carbono, % máx.	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganeso, %	.....	....	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	....	0.60–0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
Fósforo, % máx	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre, % máx	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio, % máx	0.40	0.40	0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Cobre, %min cuando se especifica.	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^A Un contenido de Manganeso 0.85 – 1.35 % y Silicio 0.15 – 0.40 % es necesario para formas con aristas y espesores superiores a 3 pulg. (75 mm).

^B Para cada 0.01 punto de reducción en la especificación máxima de carbono se permitirá un incremento del 0.06 por ciento de manganeso, del máximo especificado hasta un máximo e 1.35 %.

Tabla 3.7 Composición química del acero A36 bajo norma de la ASTM. Nota: Donde aparece “....” en esta tabla indica que es un componente no requerido. *Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades del acero A36 se pueden ver en la tabla 3.7 y 3.8. Este tipo de acero es comercial, implica que se consigue con facilidad por lo que su precio no resulta tan elevado como un acero de propiedades especiales lo que provocaría un aumento

¹⁰ Según clasificación de ASTM (American Society of Testing and Materials) bajo la designación A 36/A 36M - 04



significativo en los costos de compra de materiales, los espesores planteados para las diversas geometrías también serán de denominación común, para facilitar su existencia y adquisición y de esta forma reducir los costos finales de la manufactura, así como de los elementos requeridos para realizar las uniones (permanentes o no permanentes).

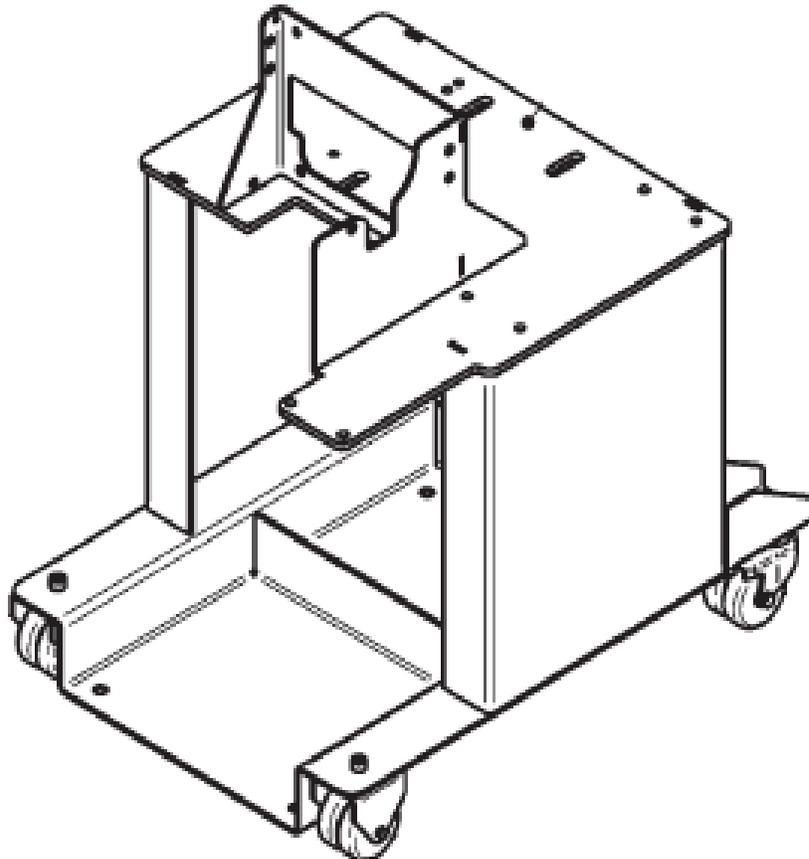


Figura 3.7 Estructura del equipo

La forma que tomará el soporte se muestra en la figura 3.7, sin embargo se puede modificar dependiendo significativamente de los componentes principales (molino, tolva, etc.) por lo que a partir del diseño final de cada uno de ellos será como el soporte se irá “adaptando” a los requerimientos y necesidades de soporte, rigidez, vibración, sonorización, etc.



Propiedades mecánicas del acero A36 (ASTM)

Placas, formas y barras:

Resistencia a la tracción, kpsi (MPa) 58 – 80 (400 – 550)

Límite de fluencia, kpsi (MPa) 36 (250)

Placas y barras:

Elongación en 8 pulg. (200 mm), min. % 20

Elongación en 2 pulg. (50 mm), min. % 23

Formas:

Elongación en 8 pulg. (200 mm), min. % 20

Elongación en 2 pulg. (50 mm), min. % 21

Tabla 3.8 Propiedades mecánicas del acero A36 Nota: para obtener la referencia de la orientación del material en las pruebas de tensión referirse a la especificación A 6/A 6M de la ASTM.¹¹ *Fuente: Elaboración Propia

3.6 Receptor de material.

La recepción de materiales para su trituración se tiene que dar en condiciones de seguridad óptima, ya que el proceso de corte en el molino requiere que los materiales se mantengan confinados, de tal forma que puedan ser procesados de manera eficiente, además de que proporcione seguridad a los operarios y a los equipos circundantes. Bajo esta lógica el diseño de la tolva permite agregar el material al molino, evitando al máximo que salgan disparados restos de los plásticos que se estén procesando, así, la forma angular de los costados permitirá minimizar los posibles congestionamientos de los materiales.

¹¹ Fuente: El origen de las tablas 3.7 y 3.8 forman parte de “Standard Specification for Carbon Structural Steel” de ASTM bajo la designación: A 36/A 36M – 04.



La tolva estará construida con lámina negra calibre 16 (1.52 mm. – 0.0598 pulg.) y reforzada en la base con solera de 1 x 1/8 de pulgada para un mejor soporte, es precisamente en esta base donde se encuentra un sistema de bisagras y cerradura que permitirá tener un acceso rápido al compartimiento de corte.

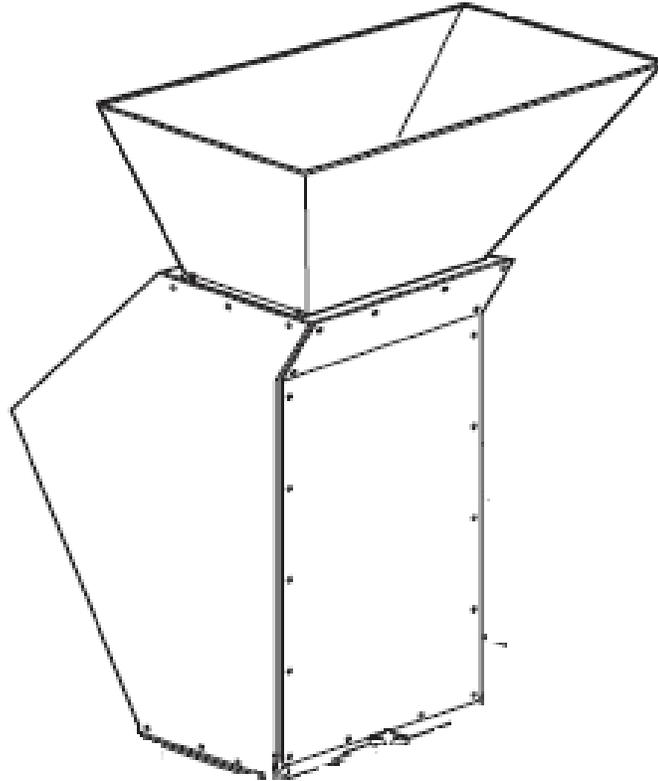


Figura 3.8 Tolva de recepción de material.

Ya teniendo en cuenta las partes de nuestro equipo podemos hacer un prototipo de cómo estará ensamblado, y las vistas que se le pueden dar al el equipo completo, con la finalidad de presentarlo adecuadamente.



CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DEL DISEÑO.



4.1 Evaluación del Diseño.

Hablamos de un análisis de diseño en forma equilibrada a cada elemento que conformará el equipo, puesto que son regímenes necesarios, al término de un proyecto el cual se debe de someter a pruebas distintas, ya sea por medio de programas de análisis y modelación de los prototipos además la combinación de los métodos de cálculos tradicionales de la ingeniería, pero agilizando el cálculo con hojas electrónicas apropiadas a cada caso, ¿Por qué se hace este tipo de prueba o modelación? debido a los desgastes, fallas, anomalías, etc., que se pueden presentar en cada una de las piezas, permitiendo que se puedan modificar los márgenes de error, ya que al diseñar un equipo se hace con todos los márgenes de calidad, protección y seguridad para el equipo y el operador, también se considera para un tiempo determinado, debido al trabajo, operación y mantenimiento, se determina la vida útil del equipo, por ello tenemos que hacer un chequeo para saber las condiciones de trabajo de cada pieza y poder hacer un mantenimiento preventivo, el cual puede no ser el correcto y tener que hacer un mantenimiento correctivo, es por ello que la evaluación de piezas es un factor muy importante en cada diseño de un equipo.

4.1 Marco Histórico del Método de Elemento Finito (FEM).

El método de elementos finitos por novedoso que parezca, tiene ya varios años en su forma conceptual, ya que podemos recordar las bases de cálculo diferencial e integral propuestas por Sir Isaac Newton por tomar un ejemplo, sin embargo, el desarrollo moderno de esta técnica comienza en 1940, específicamente en el campo de la ingeniería estructural, con los trabajos de Hrennikoff, en 1941 y McHenry en 1943, quienes propusieron el uso de líneas en una dimensión para representar elementos



como barras o vigas para el cálculo de esfuerzos en sólidos con sección transversal continua.

La frase “elementos finitos” fue introducida por primera vez por Clough cuando se usaron elementos triangulares y rectangulares, para el análisis de esfuerzos.

La técnica de matriz de rigidez para placa rectangular considerando elementos de flexión, fue desarrollada por Melosh en 1961, la cual fue seguida por la matriz de rigidez de cascada simétrica en los ejes, desarrollada para contenedores de presión en 1963 por Grafton Strome.

Pero fue hasta el año de 1961, cuando Martín extendió los alcances y aplicaciones del método de elementos finitos a problemas tridimensionales con el desarrollo de matrices de rigidez tetraédricas. Trabajos adicionales realizados por Galagheret en 1962 y Argyris en 1964, complementaron la técnica de matrices tetraédricas para el caso de estudio de sólidos simétricos en los ejes.

La mayoría de los trabajos desarrollados para la técnica de elementos finitos hasta principios de los 60s, se enfocaron en la modelación matemática de problemas mecánicos, que contemplaran únicamente deformaciones elásticas, desplazamientos cortos y concentración de esfuerzos bajos, en condiciones de modelación de cargas estáticas y materiales elásticos. Sin embargo, deflexiones de gran magnitud y análisis térmico, así como la modelación de materiales no lineales aparecieron hasta 1964, con los trabajos Galagheret quien además de comenzar la modelación matemática de materiales no lineales, también introdujo el concepto de pandeo de columnas en modelación matemática con elementos finitos. Trabajos como los de Zienkiewicz complementaron aún más la técnica, extendiendo los alcances del método a problemas que involucran visco elasticidad en 1968.

Éste nuevo giro que tomo en los 60s el análisis por elementos finitos, tornaba como referencia los trabajos de modelación matemática a través de métodos energéticos,



ya que la finalidad era tener modelos más confiables, se exploraba la aplicación de estos modelos de energía aplicados ya anteriormente a la mecánica de sólidos para determinación de falla en el material como es el criterio de falla Vos Misses (30), o también conocido dentro de la literatura como, “Criterio de Máxima Energía de Distorsión”.

A manera de resumen, este criterio de falla de materiales, se basa en la determinación de la energía de distorsión en un material dado, por ejemplo, la energía asociada a los cambios de forma de un material, se contrapone a la energía de los cambios en volumen del mismo.

Por lo que de acuerdo a este criterio, se establece que un determinado componente estructural, será seguro siempre y cuando no se exceda el valor máximo de la energía de distorsión por unidad de volumen, en la que para valores típicos del material, es la energía por unidad de volumen de distorsión, requerida para causar la cedencia en una prueba de tensión al mismo material.

Con el advenimiento de métodos energéticos en la mecánica de sólidos, también fueron introducidos métodos dinámicos en el análisis convencional por elementos finitos. Tal es el caso de los trabajos de Archer quien en 1965 aplicó el análisis dinámico y desarrollo el uso de matrices de masa consistente, las cuales eran aplicables a sistemas de masa residual distribuida en barras y vigas dentro del análisis estructural. Futuras extensiones al método hicieron posible la adaptación de métodos de peso residual y en 1963, comenzó a experimentar con el método de elementos finitos ya que se observó que al cambiar las ecuaciones de los nodos e implementar nuevas formulaciones, el método de elementos finitos, tenía algunas otras aplicaciones además de el área mecánica de materiales y aplicaciones estructurales. Con los trabajos de Melosh's se exploraron los campos de flujos de fluidos, torsión de flechas y condiciones de calor.



Desde hace ya más de medio siglo (principios de los 50s a la fecha), grandes avances se han hecho en la aplicación de elementos finitos para solucionar complejos problemas de la ingeniería. Ingenieros, matemáticos y otros científicos sin lugar a

dudas continuarán desarrollando nuevas aplicaciones para este método en diferentes disciplinas y áreas, ya que la necesidad de productos más confiables, eficientes y optimizados, está creando una tendencia para el desarrollo de nuevos productos, la industria automotriz, es un ejemplo de la aplicación de estos sistemas de simulación para la optimización del desempeño de vehículos, ya que con la introducción del método de elementos finitos para remplazar los pruebas de colisión de vehículos, han permitido a los diseñadores, reducir los costos al poder hacer una infinidad de pruebas a la estructura de los automóviles en una menor cantidad de tiempo, sin siquiera estrellar un solo vehículo, teniendo la certeza que el diseño es confiable y sobre todo salvaguardando la seguridad de los consumidores.

4.2 Introducción al Método de Elemento Finito (FEM).

El método de elementos finitos, es un método numérico para la solución de problemas de ingeniería hoy comúnmente empleado para resolver problemas que involucran un alto grado de complejidad, de matemáticas aplicadas, así como las físico-matemáticas, ya que la gran mayoría de los problemas que se presentan en estas áreas, las diversas propiedades de materiales, dando como resultado que generalmente no es posible obtener alguna solución analítica directamente de expresiones matemáticas. Entre las áreas de las fisicomatemáticas y la ingeniería en la que el uso del método de elementos finitos es aplicado para la solución de problemas destacan: el análisis de estructuras, problemas de transferencia de calor, flujo de fluidos, transporte de masa, así como el cálculo de potencial electromagnético.



Se entiende por la solución analítica, aquellas expresiones matemáticas que arrojan valores para alguna determinada incógnita, la cual es válida a lo largo del cuerpo estudiado y por lo tanto, es válida también en cualquier sección del cuerpo en un momento infinito de locaciones dentro del mismo. Estas soluciones analíticas, generalmente requieren de la solución de ecuaciones diferenciales ya sean parciales u ordinarias, las cuales debido a que se analizan geometrías complejas, cargas no

distribuidas y determinación de propiedades de los materiales, no son posibles de resolver. Sin embargo, la formulación que se propone por medio del uso del método de elementos finitos, permite que el problema sea planteado como una serie de ecuaciones algebraicas simultáneas, en lugar de requerir la solución de ecuaciones diferenciales complejas, pero, dado que el problema tiene que ser “discretizado”, este método numérico al igual que todos los métodos numéricos, arrojan valores aproximadamente de las incógnitas en el número finito de locaciones dentro del cuerpo, las cuales dependen directamente del número de elementos usados para la discretización de la pieza.

La discretización, es el proceso de modelación de un cuerpo que consiste en la división equivalente del mismo, en un sistema conformado por cuerpo más pequeños (elementos finitos) interconectados por medio de puntos comunes o nodos, los cuales forman superficies y se comportan como volúmenes de control independientes, los que a su vez son afectados por las condiciones de frontera que afecten al cuerpo estudiado como un todo. Durante la aplicaciones del método de elementos finitos, en lugar de intentar resolver el problema como un todo en una sola operación, se divide el cuerpo del problemas en un número finito de elementos, los cuales a su vez se resuelven simultáneamente y se obtiene el resultado de un todo conformado por cada resultado arrojado por los elementos finitos.

Este nuevo giro que tomo en los 60s el análisis por elementos finitos, tomaba como referencia los trabajos de modelación matemática a través de métodos energéticos,



ya que con la finalidad de tener modelos más confiables, se exploraba la aplicación de estos modelos de energía aplicados ya anteriormente a la mecánica de sólidos.

Este método de elemento finito es una técnica, para resolver ecuaciones diferenciales parciales, primero, discretando las ecuaciones al describir el problema en sus dimensiones espaciales. Esta discretización se lleva a cabo sobre las pequeñas regiones de formas arbitrarias. Estos resultados, en matrices, relacionan la entrada de puntos específicos a la salida de todos los puntos en el dominio.

Para resolver las ecuaciones sobre grandes regiones, las ecuaciones en matrices, para regiones más pequeñas son sumadas nodo por nodo, esto resultará en el desarrollo de ecuación de la matriz global. Además este método consta de varios pasos como son:

- ✓ Definición del problema y su dominio.
- ✓ Discretización del dominio.
- ✓ Identificación de variable de estado.
- ✓ Formulación del problema.
- ✓ Estableciendo sistemas y coordenadas.
- ✓ Construyendo funciones aproximadas para los elementos.
- ✓ Introducción a las condiciones de frontera.
- ✓ Solución del grupo final de ecuaciones.
- ✓ Interpretación de resultados.

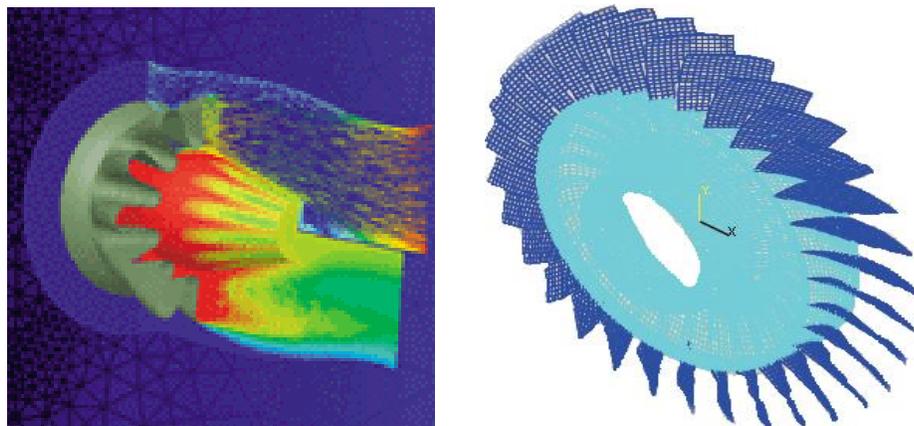


Figura 4.2 Modelo de método de elemento finito.



Teniendo en cuenta cual será el mejor método para el análisis pasamos a definir cuáles serán los elementos que tendrán que analizarse sobre todo por los esfuerzos a los cuales estarán sometidos.

4.3 Eje de rotación.

Básicamente se llevará a cabo el análisis por el método de elemento finito a piezas principales como el eje, el rotor y las cuchillas, debido a que ejercerán un mayor esfuerzo al corte de material pet que requerimos, por ello vamos analizar en primer instancia al eje, parte medular de nuestro equipo.

Chumacera elemento de sujeción de un diámetro de 1”, la cual ya se estudio en el capítulo anterior, formara parte de la sujeción para el rotor, permitiendo los movimientos giratorios para el corte de material además la flecha estará construida por un acero resistente de grado maquinaria como es el 1018, el cual se considera de medio carbono como se muestra en la tabla 4.3, sus principales aplicaciones son para la fabricación de partes de transmisión y aplicaciones mecánicas como las flechas, tornillos, rótulas y flechas para pozo profundo entre otros.

PROPIEDADES QUIMICAS	
%	
C	0.15 / 0.20
Mn	0.60 / 0.90
P	0.04 Max
S	0.05 Max

Tabla 4.3 Propiedades químicas de una barra solida redonda de acero AISI 1018. *Fuente suministros técnicos s.a. catálogo de aceros maquinaria AISI



Además la Norma ASTM A-29 /AISI/ SAE 1018, nos proporciona las propiedades mecánicas de este material las cuales están en la tabla 4.3.1, y podemos trabajarlo de manera que nos permita rectificarlo y pulirlo para obtener las especificaciones que requerimos en el eje de rotación.

Propiedades Mecánicas	
Esfuerzo de fluencia	370MPa (53700 PSI)
Esfuerzo máximo	440MPa (63800 PSI)
Elongación máxima	15% en 50mm
Reducción de área	40%
Dureza	126 HB
Maquinabilidad	76%
Modulo de elasticidad	205 GPa (29700KSI)

Figura 4.3.1 Propiedades mecánicas de una barra solida redonda de acero AISI 1018. * Fuente suministros técnicos s.a. catálogo de aceros maquinaria AISI

Teniendo las propiedades del material con el que se manufactura la pieza podemos pasar a ver el comportamiento del análisis de esfuerzos, para poder saber las resistencias mecánicas a las cuáles estará sometido nuestro elemento.

Además el eje, contiene dos cuñeros en su geometría, que permiten la sujeción en un extremo de la polea, la que transmitirá todo el movimiento que arroja el motor, del otro extremo contendrá un volante de inercia (el cual se ocupa de mantener la misma velocidad de corte, con la carga de material a procesar, sin tener esfuerzos excedentes hacia el motor), de las mismas dimensiones de la polea, contará también con barrenos que permitirán la sujeción de los rotores por medio de prisioneros evitando el desajuste de los mismos; por otra parte llevará dos asientos permitiendo un acople con las chumaceras propiciando el movimiento rotativo, a continuación se muestra la figura del eje con sus respectivos maquinados los cuales estarán expuestos a diferentes sujeciones, cargas y distintos esfuerzos.

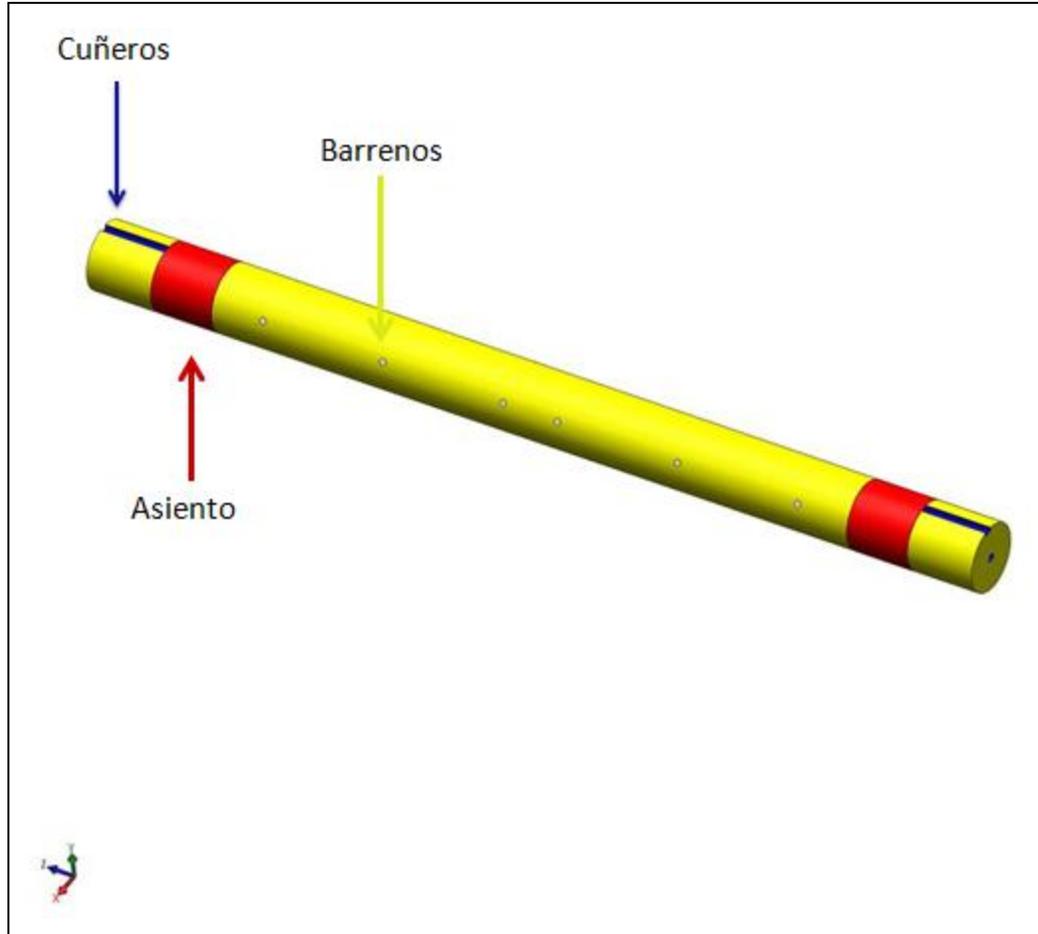


Figura 4.3.1 Eje de rotación de acero AISI 1018, con cuñero, asientos y barrenos.

En la figura 4.3.1 se muestra los diferentes maquinados para la sujeción de piezas y acoplamiento de otras, que contiene el eje rotativo. La finalidad de estas imágenes que se presentan en este subtema, es mostrar la secuencia que sigue el proceso del método de elemento finito, mediante etapas como las siguientes:

- Elaborar el eje con sus respectivos maquinados, cuñeros, asientos y barrenos.
- Aplicar restricciones de sujeción y cargas en el eje.
- Y por último, mostrar la deformación del material en el simulador de solidworks.

Mostrando la secuencia de la simulación de esfuerzos para el eje, como se muestra en la figura 4.3.2, en donde llevará las restricciones de sujeción y la parte de donde recibirá las diferentes cargas a lo largo de la sección longitudinal de nuestro eje.

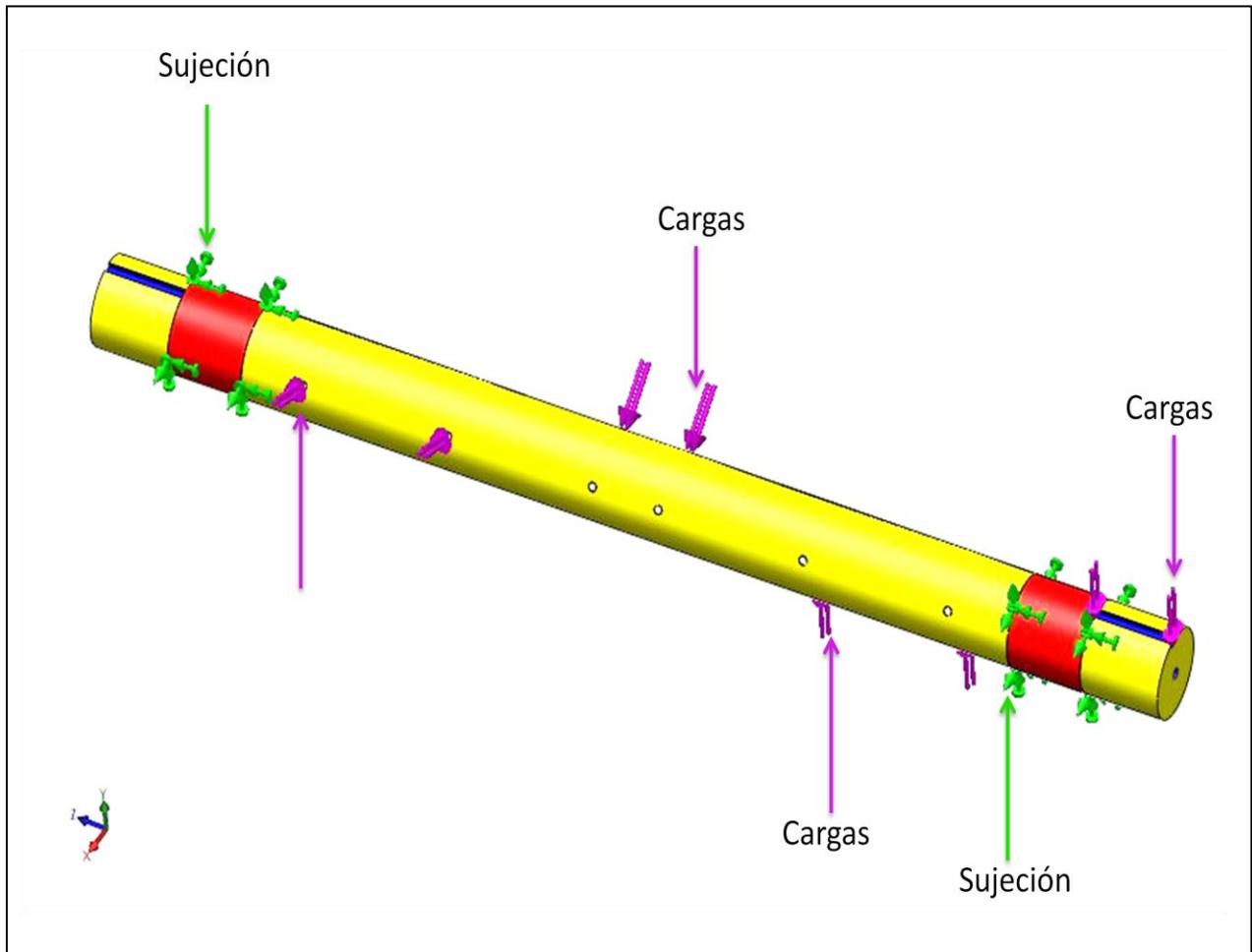


Figura 4.3.2 Eje de rotacion acero AISI 1018, con sujecion y cargas.

Las sujeción estará en el asiento para la chumacera y esto esta marcado con color verde, mostrando los dos puntos de sujeción que llevará el eje, las cargas tendrán lugar en los barrenos como se muestra en la figura, además en el cuñero donde está sujeta la polea, con la carga del motor.

Pasando a nuestro siguiente punto, mostrar la deformación del material en el simulador de solidworks.



4.3.1 Esfuerzos del eje de rotación.

En forma similar a la que se muestra en las imágenes anteriores, como el eje con sus respectivas sujeciones y cargas, en la figura 4.3.3 podemos apreciar las respectivas deformaciones, restricciones de sujeción y cargas virtuales que tiene nuestro eje, se aprecia como el eje tiende a sufrir mayores concentraciones de esfuerzos en los diferentes puntos mencionados.

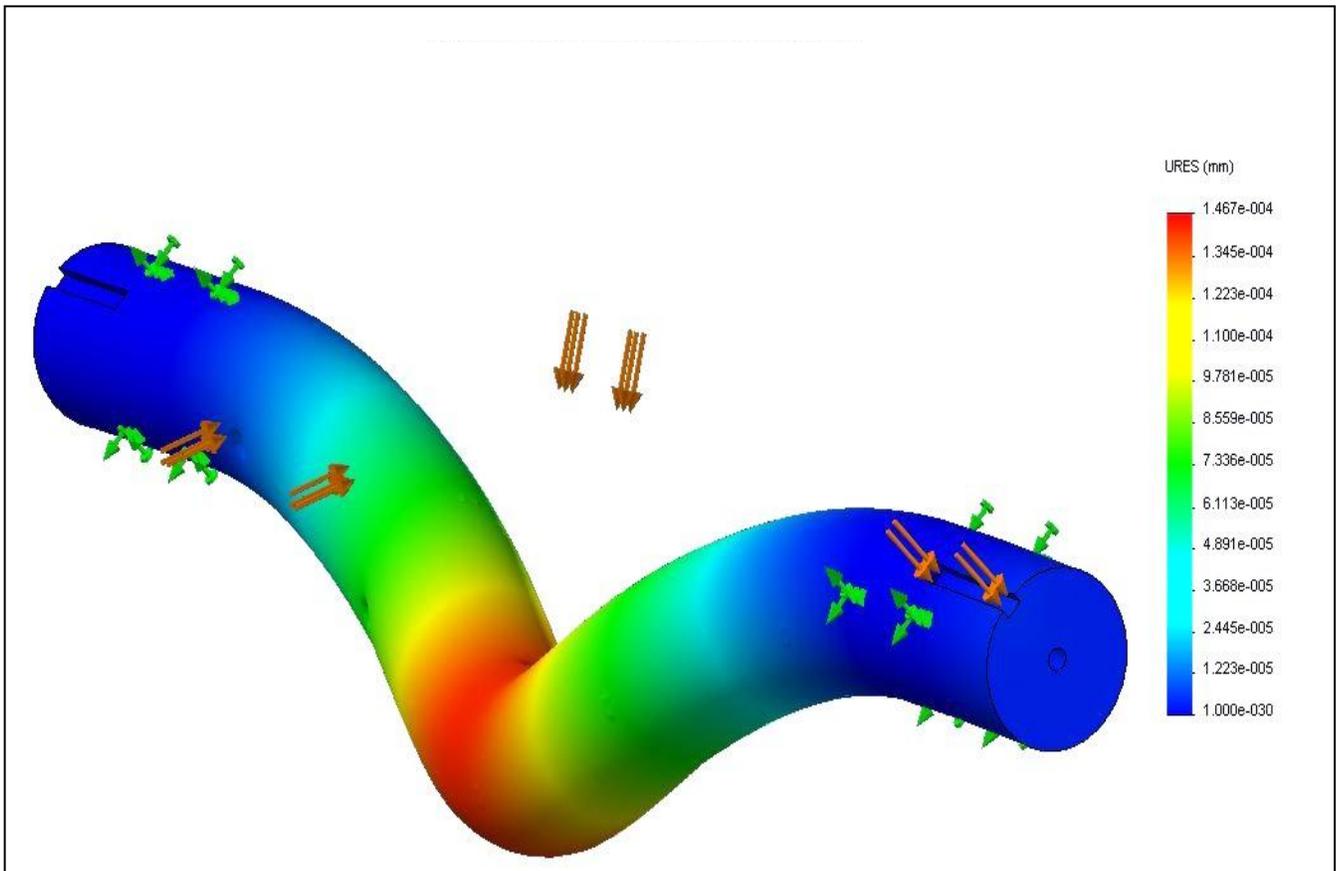


Figura 4.3.3 Deformación en el eje de rotación de acero SAE 1018, simulación, en Solid Works

Se muestra en la figura anterior la deformación del eje el cual está sometido a cargas en diferentes puntos de sujeción, también se muestra en el eje en un color claro la parte que sufrirá una ruptura, sin embargo las cargas, sujeciones y simulación son una aproximación a lo real, ya que para medir la resistencia, elasticidad del material, punto de ruptura hay maquinas especializadas pero nos podemos guiar por estos software de computadora que permiten la modelación de la pieza.



4.4 Rotor

Básicamente fue diseñado para soportar las cargas y esfuerzos a los que estará sujeto al momento de corte de material, ya que en la parte superior se colocara la cuchilla de corte, por ello la geometría esta sobre la base de un triángulo, debido al estudio que se llevo a cabo y esta marcado en la tabla 3.6, se decidió por el rotor de 3 cuchillas, en el cual cada cuchilla está a 120° cada una, conformando una circunferencia de 360° , esto permitirá que el balance de peso sea de forma equitativa a cada lado y así evitar vibraciones durante el movimiento rotativo, se muestra a continuación en la imagen los maquinados que llevará y como es la geometría del elemento a analizar por el software.

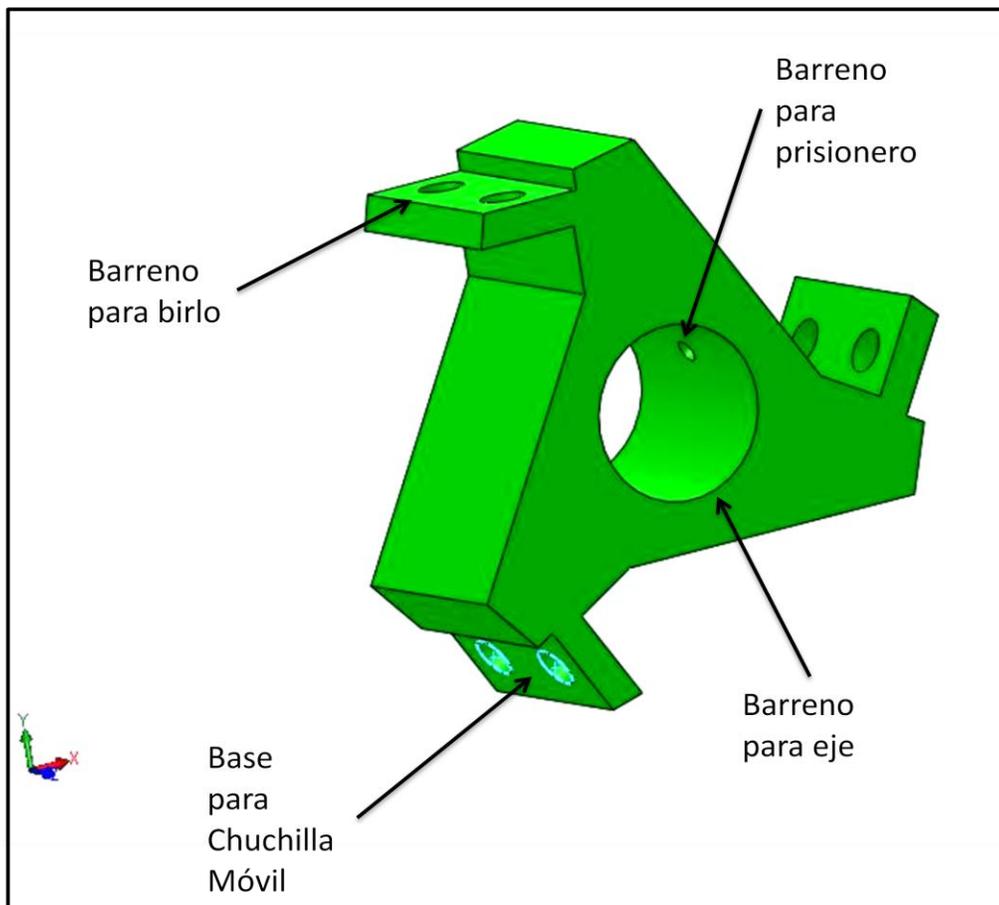


Figura 4.4.1 Geometria y maquinado del rotor de material de acero AISI-SAE 4140.

Se muestra en la figura 4.3.1, los maquinados que debe de llevar nuestro elemento como es el barreno de sujecion para las cuchillas, barreno donde la sujecion de éstas tendran su acoplamiento y al final el barreno para el prisionero. El material con que estará fabricado nuestro elemento será de acero AISI-SAE 4140, además el conjunto eje-rotor estará compuesto en su totalidad de 6 los cuales se distribuyen en dos partes de tres rotores cada una, ya que una parte estará 90° con respecto a la otra, de esta forma al introducir el material a procesar se tendrá un corte más eficiente ya que el material no rebotará hacia la parte superior, teniendo así un sistema de agarre del material, por ello el material descenderá de forma continua. Seleccionamos este arreglo de tres rotores compactos para hacer un elemento, debido a que la manufactura tendrá un costo menor y será más rápida de realizar.

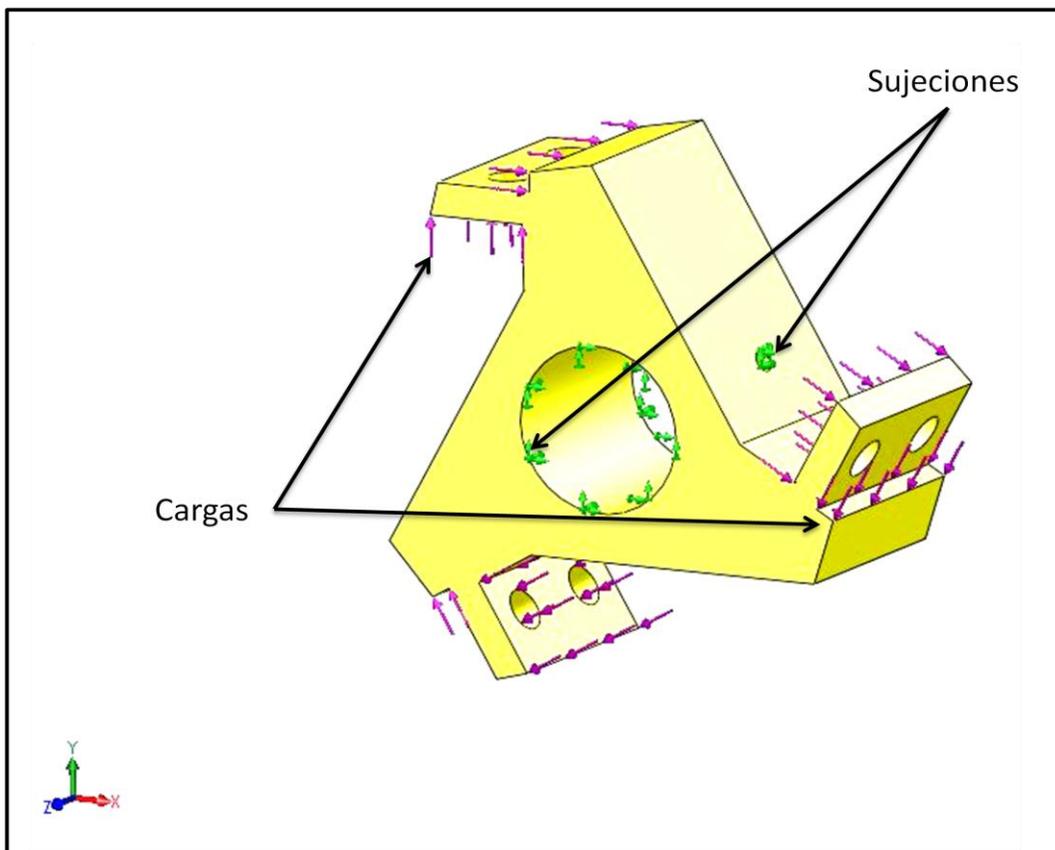


Figura 4.4.2 Rotor de material de acero AISI-SAE 4140, con sujeciones y cargas.



Anteriormente se mostró en la figura 4.4.2, se aprecia el rotor, se muestra al girar el elemento para ver la aplicación de cargas y sujeciones respectivamente, colocando primeramente la sujeción en el barreno donde se acoplará el eje, también en el barreno donde llevará el prisionero, y las cargas se anexan en la base de las cuchillas y en la parte superior del rotor, ya que la cuchilla está apretada para evitar que la sujeción falle con el movimiento del eje. Pasamos ahora al siguiente paso que es la simulación de esfuerzos a que esta sometido el elemento.

4.4.1 Esfuerzos del Rotor.

Es por ello, que el rotor al igual que el eje y la cuchilla se someten al mismo simulador de esfuerzos para ver cuáles serán los puntos críticos de la geometría que estarán

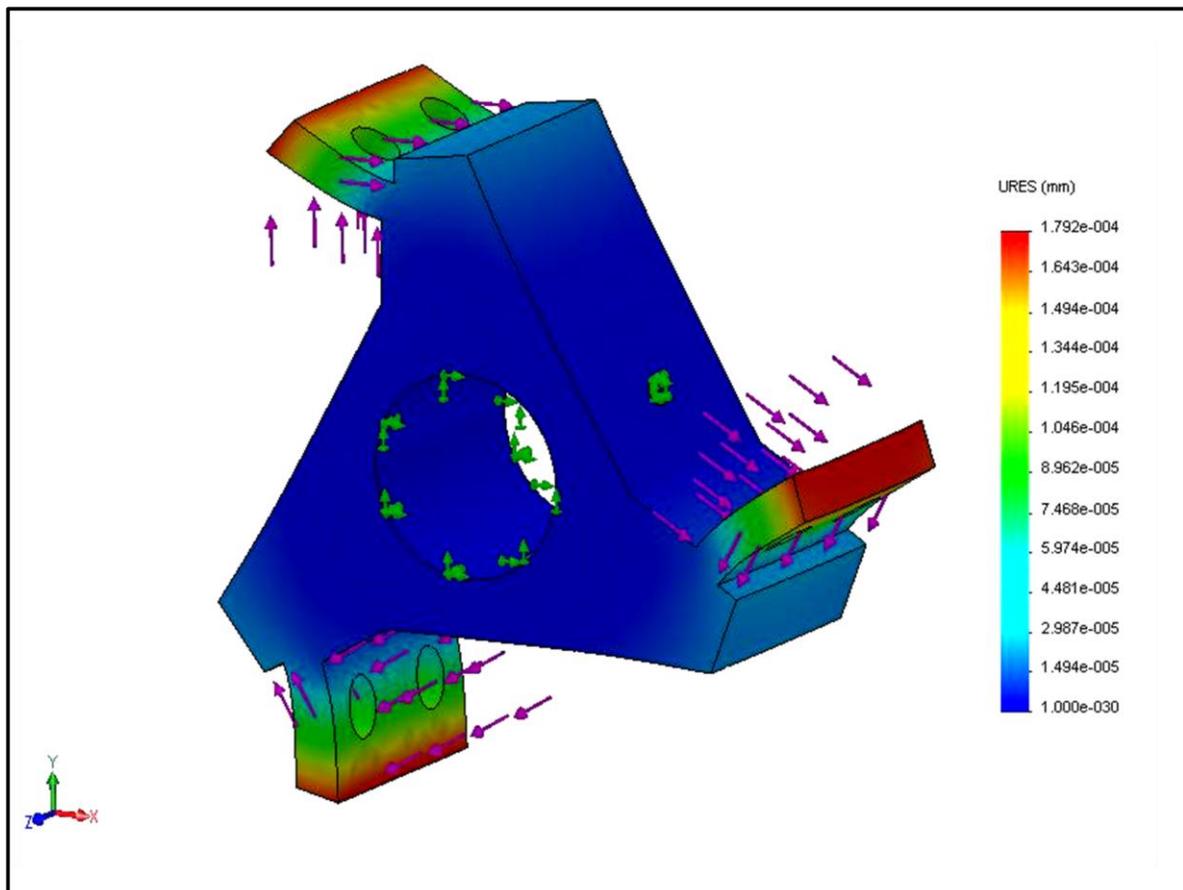


Figura 4.4.3 Rotor, resultados de deformación del material acero AISI-SAE 4041, simulacion en Solid Works



expuestos al momento de cortar el material (pet), mostrando en la figura 4.4.3, donde habrá una posible fractura si en un dado caso se tuviera una carga excedente, además se aprecia de forma virtual como esta geoméricamente el rotor junto con los maquinados que requiera y aún más la exposición de esfuerzos.

4.5 Cuchillas

Se analizan las cuchillas, sin embargo serán dos elementos como es la cuchilla móvil (sujeción de rotor) y cuchilla fija (sujeción de chasis), del sistema de corte, están diseñadas para hacer el corte de plástico reciclado de forma eficaz, evitando que el filo se pierda, ya que el material seleccionado acero AISI D2 tiene alto rendimiento para el corte, evitando la fatiga del metal, contarán con ajustadores que permiten a la cuchillas ajustarse en cada momento que se requiera afilarlas o cambiarlas, de modo que se mantenga los diámetros de corte y la granulación uniforme. Es por ello que se mostrará el montaje del eje, rotor y cuchilla para analizar los esfuerzos posteriormente.

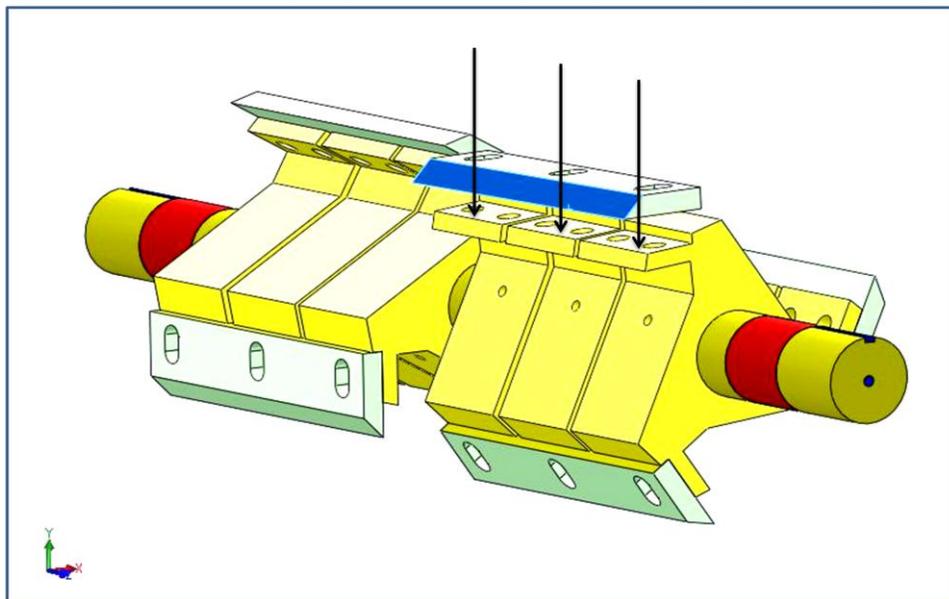


Figura 4.5 Acople de eje, rotor y cuchilla.



Por medio del software se muestra el ensamble parcial del equipo ya que solamente están los tres elementos que estarán sometidos a cargas y esfuerzos, mostrando que la cuchilla está empotrada en el rotor para poder así tener la ventaja de poder sacar filos en el momento que sea necesario.

Además también se muestra en la figura siguiente en donde llevará las cargas y sujeciones para nuestra cuchilla y posteriormente se realiza el análisis mediante el simulador virtual para determinar los esfuerzos.

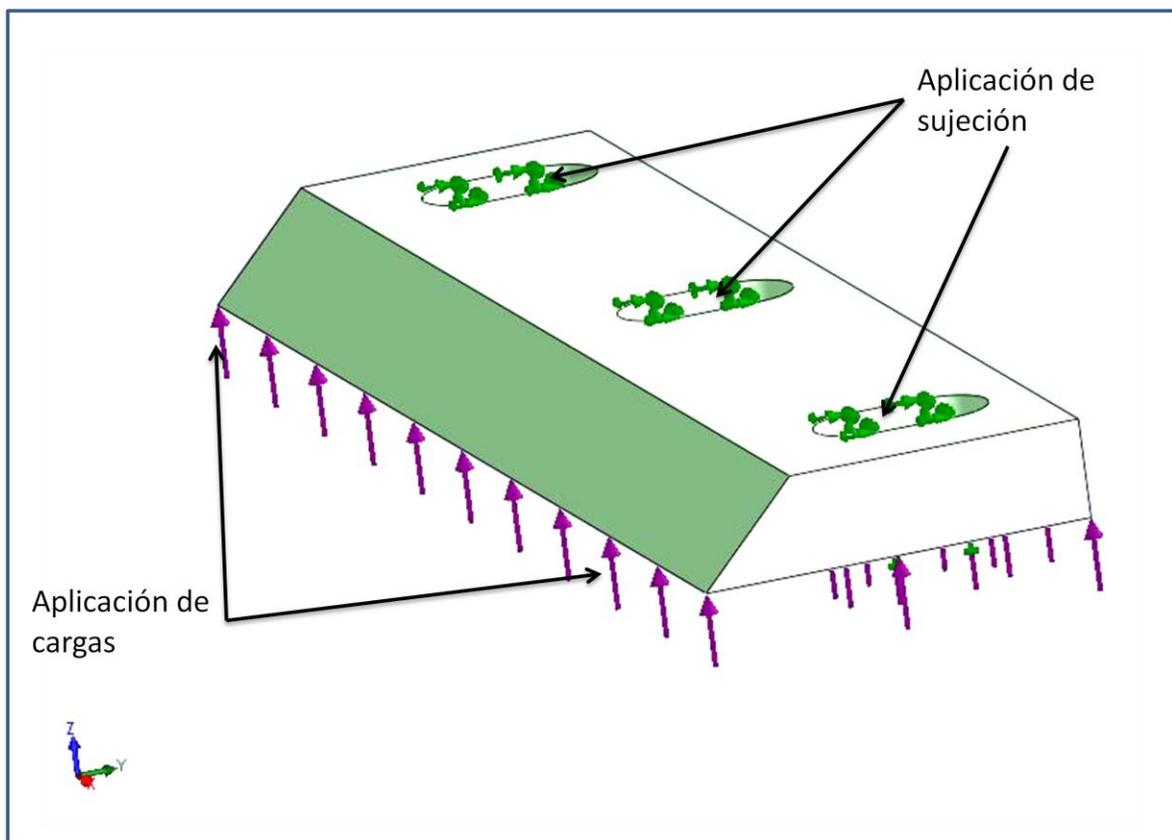


Figura 4.5.1 Sujeción y cargas aplicadas a la cuchilla de material de acero AISI D2

Se realiza un estudio con el software como se presenta en la figura 4.5.2, para la simulación de las deformaciones virtuales en la pieza, además que nos proveen un análisis aproximado de cómo se comporta el material bajo la acción de las fuerzas a que estará sometida la cuchilla cuando esté realizando el corte de materiales,



además, teniendo el estudio nos damos cuenta que los valores arrojados por el mismo en el simulador, determinan que el comportamiento del material tiene las características mecánicas que se requieren en este proceso de corte de materiales.

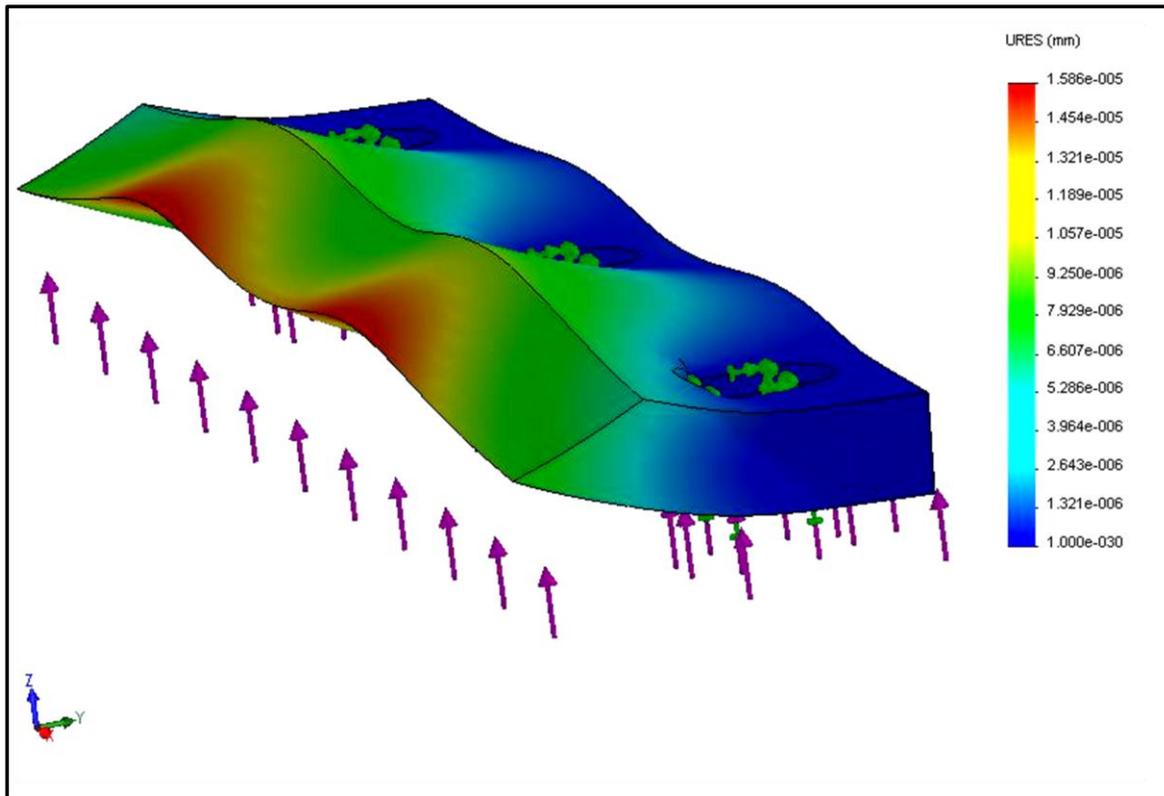


Figura 4.5.2 Deformaciones de cuchilla de material acero AISI D2, simulación en Solid Works.

En la cuchilla se selecciona un material con más resistencia y propiedades especiales debido al trabajo que realiza, por una parte el corte de material que y que sufrirá constantemente choques de cargas, se muestra a los esfuerzos que estará sometido. Mediante. Este software nos permite mejorar la selección de materiales, de una forma parcial, ya que por otra parte tenemos los cálculos tradicionales que permiten realizar la selección manual o a través de hojas electrónicas, pero con el paso del tiempo tenemos herramientas más útiles como la ingeniería asistida por computadora; teniendo en cuenta los resultados del análisis mediante el simulador, pasamos a la parte final, que son los planos de proyecto de nuestro equipo.



Para terminar el capítulo quiero anexar algunas cuestiones acerca del análisis de las piezas que se analizaron mediante el software de computadora (solid Work), que son las figuras **4.3.3 (Grafica que muestra las deformaciones virtuales resultantes de los esfuerzos derivadaos de las cargas aplicadas)**, que es referente al eje aquí se muestra la pieza la cual debe de llevar dos cuñeros, barrenos para los opresores, un barreno en el centro del eje del lado izquierdo y otro más lado derecho, asientos para las chumaceras todos estos tipos de maquinados se toman en cuenta ya que son importantes para para la sujeción de las piezas, sin embargo nosotros no abordaremos el tema de cada unos de ellos ya que se ampliaría más el trabajo, posteriormente otros generaciones de ingenieros aborden los temas que hemos mencionado en esta tesis, para analizar y mejorar el equipo o los equipos a diseñar, la figura **4.4.3 (Grafica que muestra las deformaciones virtuales resultantes de los esfuerzos derivadaos de las cargas aplicadas)**, menciona el rotor de la misma forma la geometría apliaca en este equipo fue la mejor, sin emabrgo se puede modificar para eficientar los cortes de material aumentar el peso del mismo, que tenga menos o más barrenos de sujeción a la medidas que se requiera, ya que nosotros decidimos hacerlo con forme, nos pedia el software para la simulación, a efecto de demostrar la deformación de la pieza, la figura **4.5.2 (Grafica que muestra las deformaciones virtuales resultantes de los esfuerzos derivadaos de las cargas aplicadas)**, última pieza que se sometió a la simulación fue la cuchilla fija y móvil, nos permite entender el comportamiento de las misma para darnos una idea de que si se aplican cargas y fuerzas exedentes podemos llegar a fracturar las cuchillas.

Cabe mencionar que en las figuras antes mencionadas tiene cada uno un cuadro con valores que determina a cuanta carga fue sometida cada una de ellas, además se aprecia en color más claro el punto de fractura del material, sin encambio hay softwares con más tecnología, más parametros, mejores resultados, nosotros seleccionamos este programa, ya que su costo es realmente económico, ya que otros tienen costos demasiado elevados.



Conclusiones.

Me permito dar el último paso, es decir hacer un comentario de este proyecto, que si bien ha sido tan importante desde la fase de preparación, de información, investigación y análisis, ya que el principio de todo este proyecto fue él para que se lleva a cabo, mostrar que hay diferentes tipos de diseño, pero debemos empezar el diseño como uno requiera y lo utilice, bajo el principio de los autores ya mencionado en el primer capítulo, por medio de bocetos, herramientas de cómputo, etc. Posteriormente se aplican los cálculos que es la parte medular de un trabajo ya que nos arrojan los lineamientos que debemos de seguir bajo los rangos y parámetros de los resultados, sin embargo los cálculos matemáticos tradicionales compiten ahora en día con la tecnología ya que hay software en el que podemos solamente vaciar los resultados que arrojan los cálculos tradicionales y podemos manipularlos de forma virtual, para tener una vista de los elementos que conformarán un equipo.

Inclinándome al desarrollo como futuro ingeniero debemos de combinar los cálculos matemáticos tradicionales y los de sistemas computarizados, y usarlos comparativamente para mejorar cada trabajo que se realice.

Saber que el diseño de un equipo tiene múltiples opciones, con especificaciones de salida, las cuales debemos de interpretar como ingenieros, pero a veces esos resultados cuando uno los lleva a la práctica difieren, y nos es porque estén mal los cálculos o el software, simplemente hay variaciones y desviaciones involuntarias que no se perciben hasta que se fabrican los prototipos y se prueban.

En ocasiones el diseño, los cálculos y el software, no nos arrojan algunos detalles que debemos considerar al realizar un prototipo, como el mantenimiento de las sujeciones debido a que este equipo tendrá vibraciones, ya que es un punto importante por ello debemos de realizar periódicamente el mantenimiento de aquellas partes que estarán sometidas a vibración para evitar un problema o accidente derivado de la misma.



Para concluir este trabajo hago referencia que el objetivo del diseño es un prototipo de un equipo triturador de plástico Pet, que en algún momento puede ayudar a futuros ingenieros que les interese el proceso de material pet, y así mejorar este proyecto con aportaciones, críticas y ajustes en aquellos futuros proyectos o investigaciones.

Además este equipo triturador se puede manufacturar para establecer una microempresa de reciclado y procesamiento de plástico pet, en comunidades adecuadas y poder desarrollar proyectos de calidad, mejorando la situación actual de dichas comunidades.

Aunque es un poco complicado integrar los métodos de diseño ocupados en éste proyecto, así como entenderlos o interpretarlos, podemos recurrir a fuentes diversas de información y datos, como: manuales técnicos, libros, internet y asesoría con expertos, profesores e investigadores, que nos puedan ayudar en los procesos de ingeniería y mejorar día a día nuestros trabajos, proyectos y diseños.

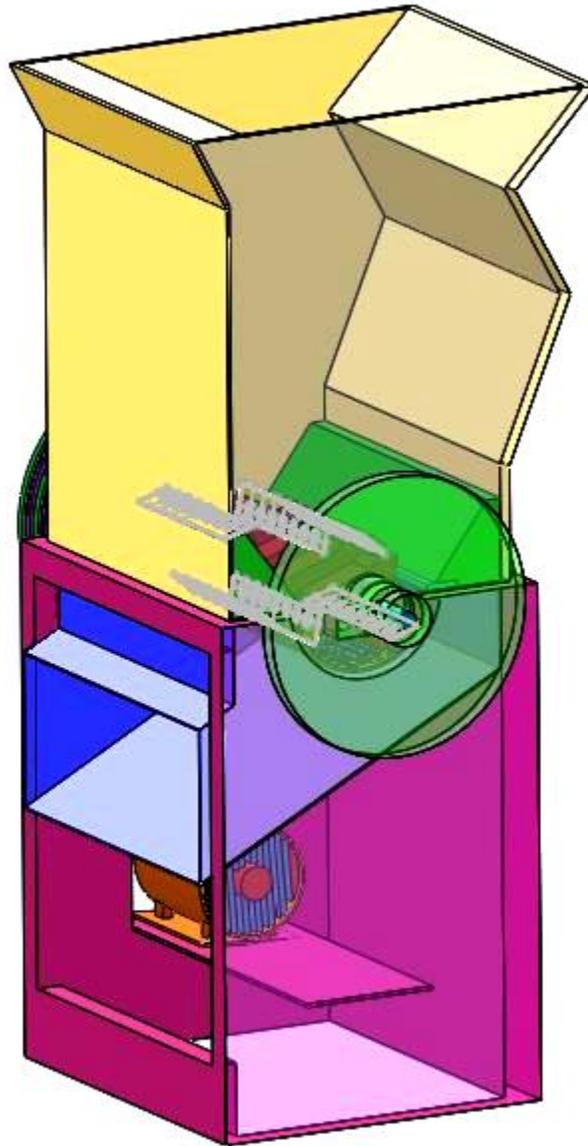


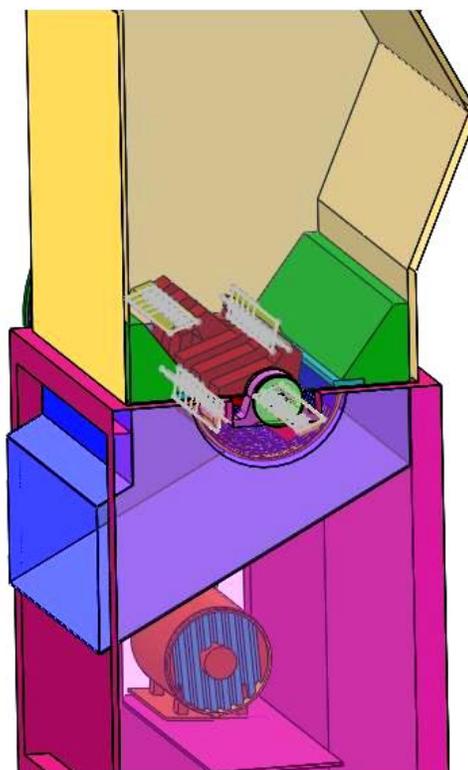
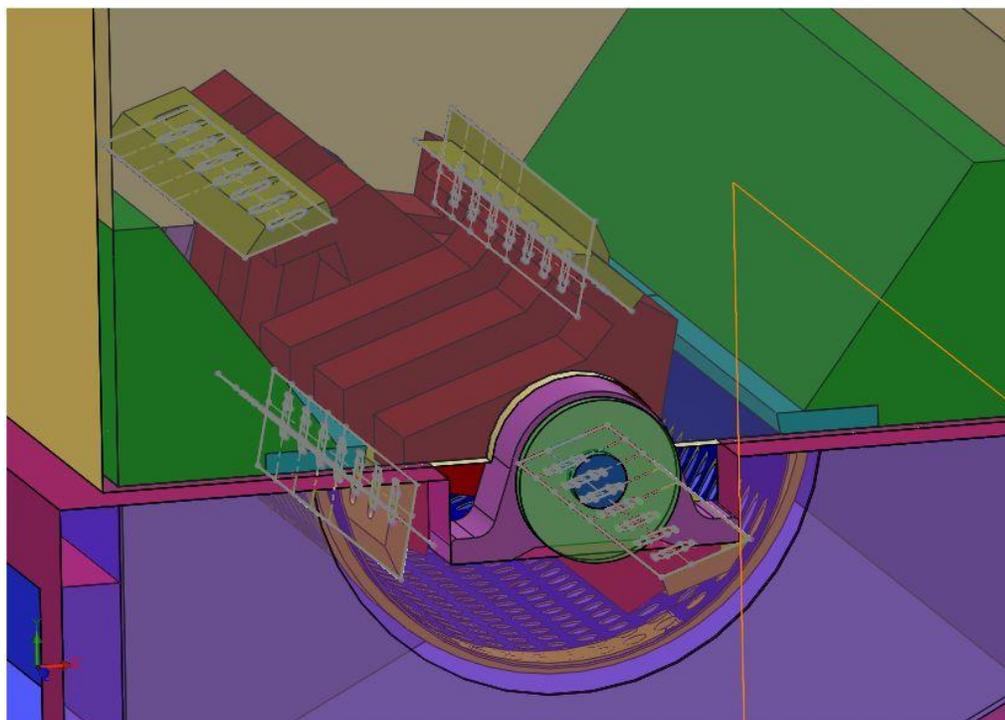
ANEXO

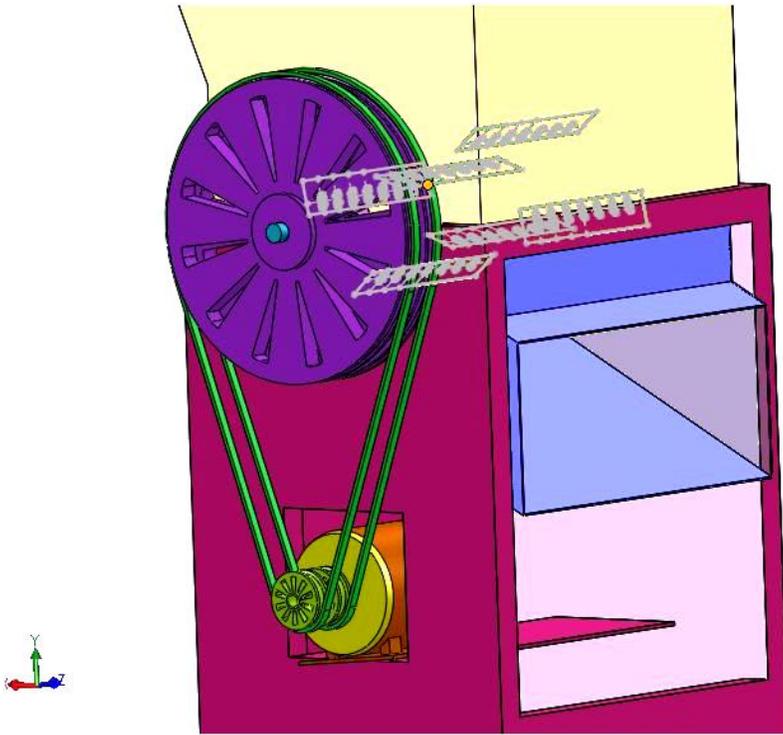


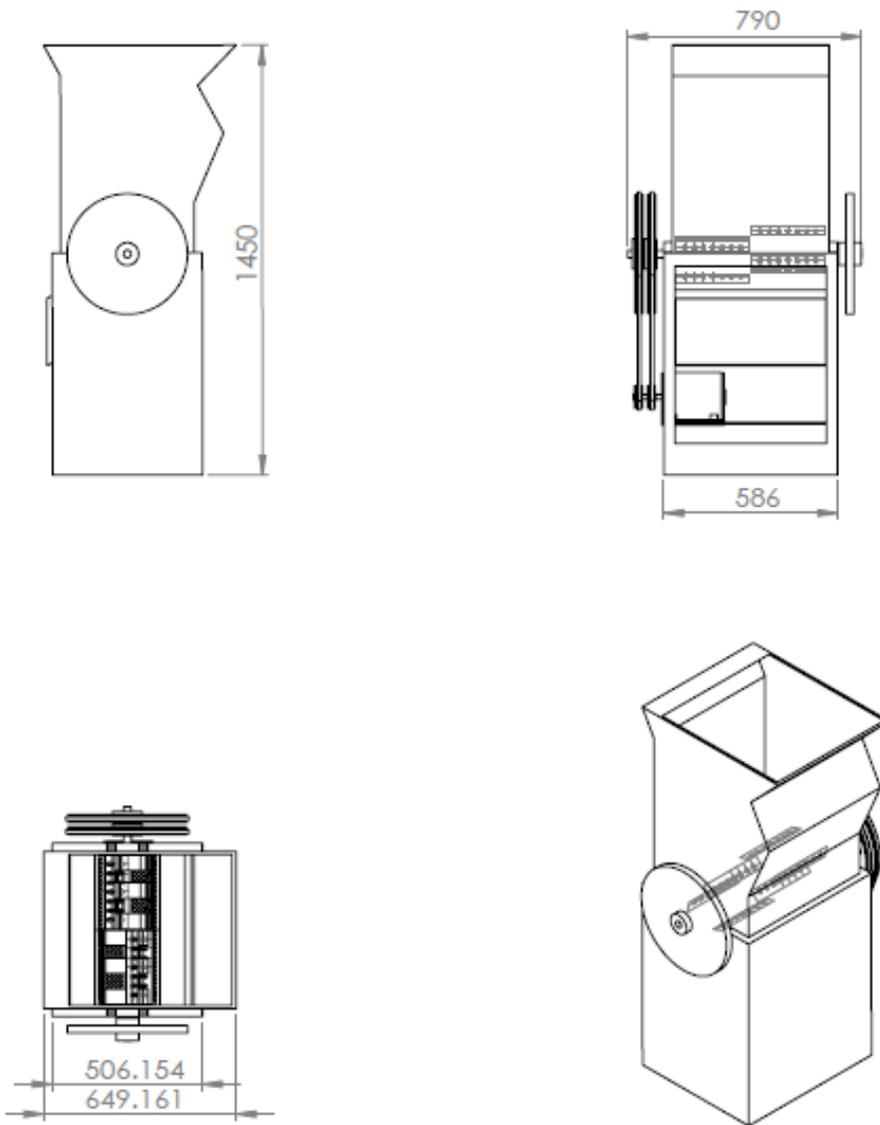
Planos del “Diseño de un equipo de trituración de plásticos reciclados”

Se realizaron los planos y dibujos virtuales en 3D del prototipo del equipo, se tomaron algunas especificaciones y necesidades del cliente, por ello se propone algunas dimensiones para orientar de cómo será posible la manufacturación del equipo, se anexan los planos del prototipo. El material que se ocupa en este equipo está en el capitulado 3 y 4, para fines comparativos. Además se anexan dibujos de acoplamiento de las piezas principales, estos dibujos y planos son una propuesta de cómo quedara nuestro equipo, sin embargo debemos considerar algunos factores como las tolerancias, ajustes, dimensiones, tornillería, tratamientos térmicos, el desarrollo el lámina y en placa, etc., cuyos factores intervienen en la manufacturación.

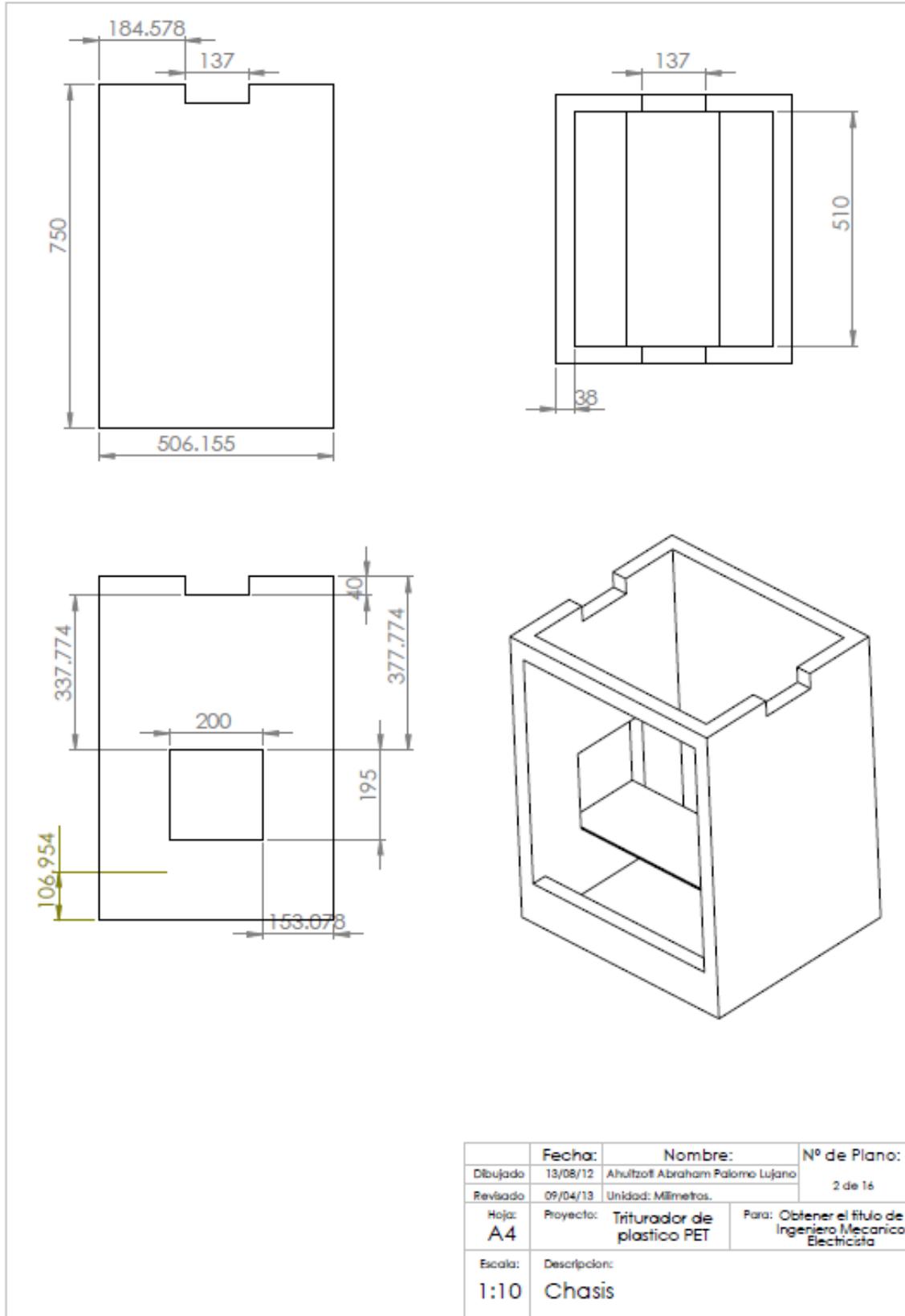




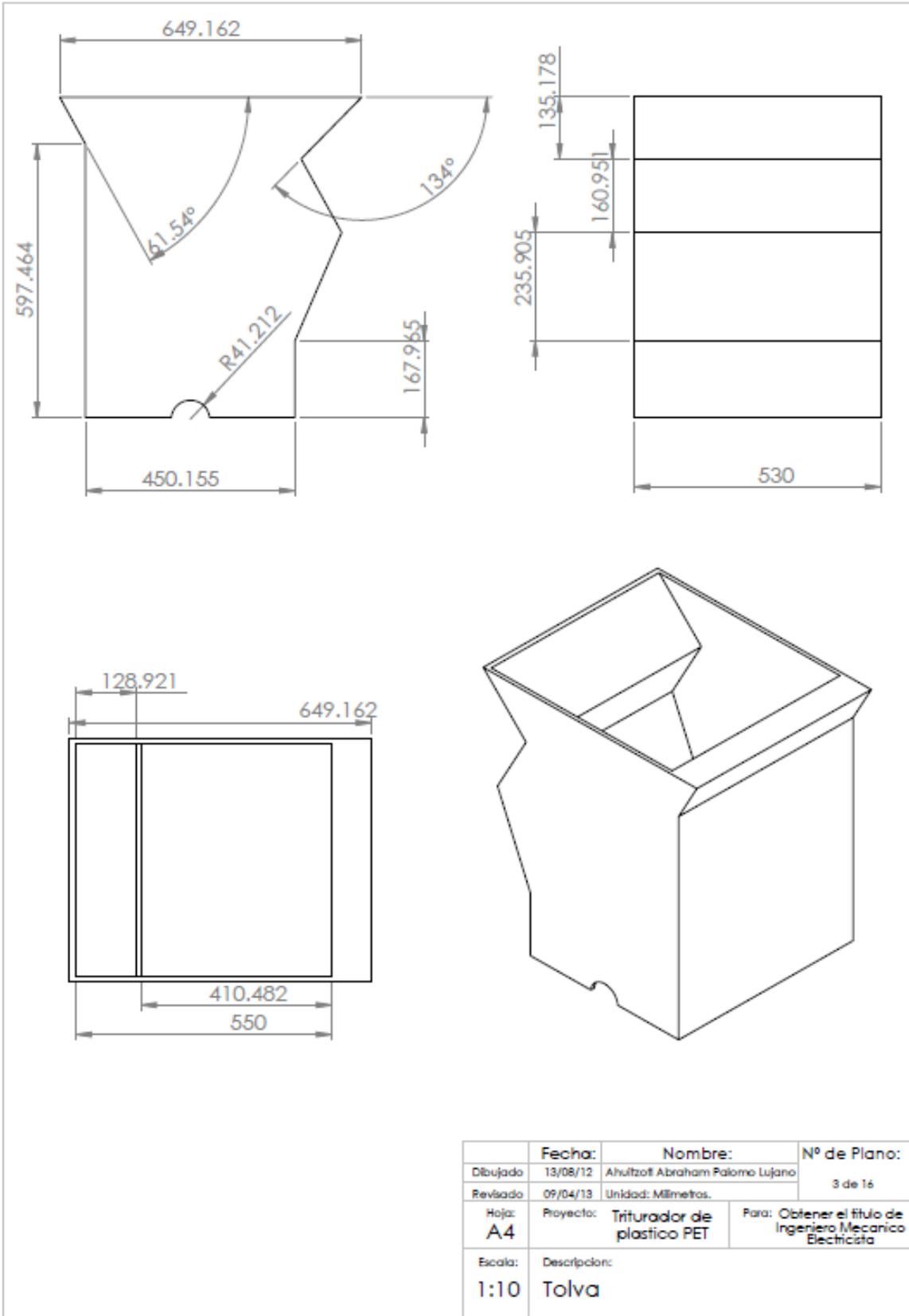
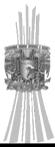


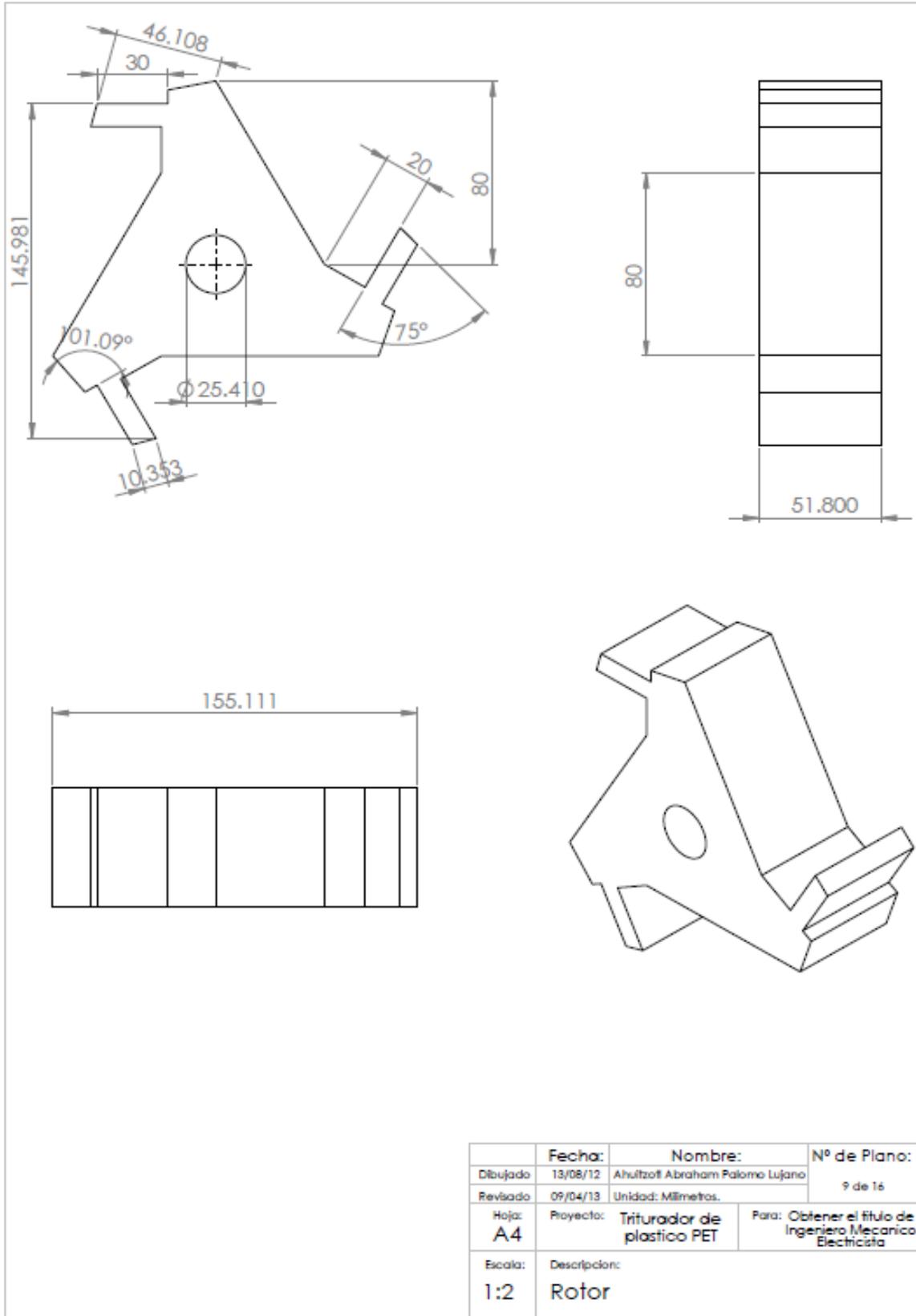


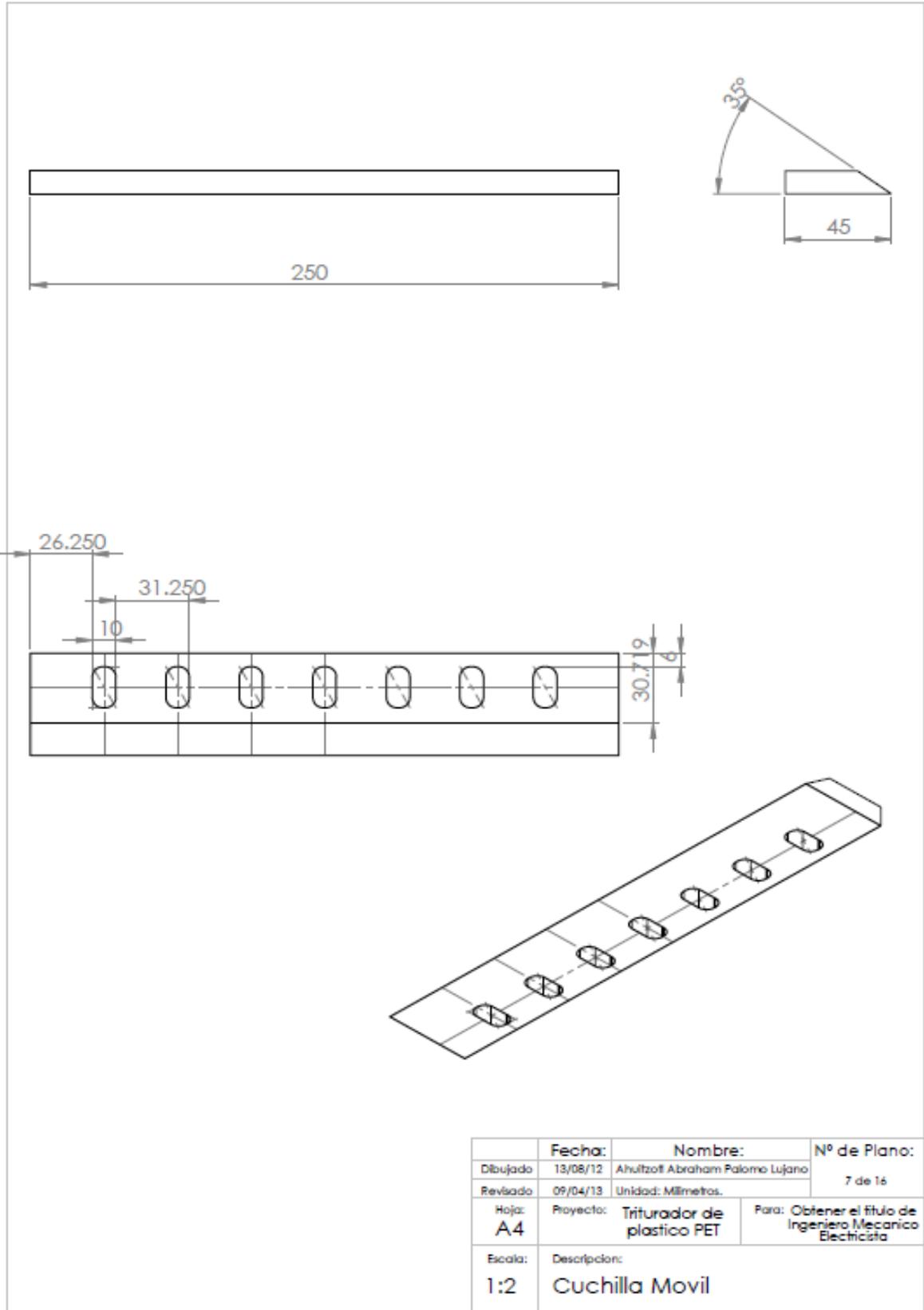
	Fecha:	Nombre:	Nº de Plano:
Dibujado	13/08/12	Ahuitzotl Abraham Palomo Lujano	1 de 16
Revisado	09/04/13	Unidad: Milímetros.	
Hoja: A4	Proyecto:	Triturador de plástico PET	Para: Obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista
Escala: 1:20	Descripción:	Medidas del triturador	

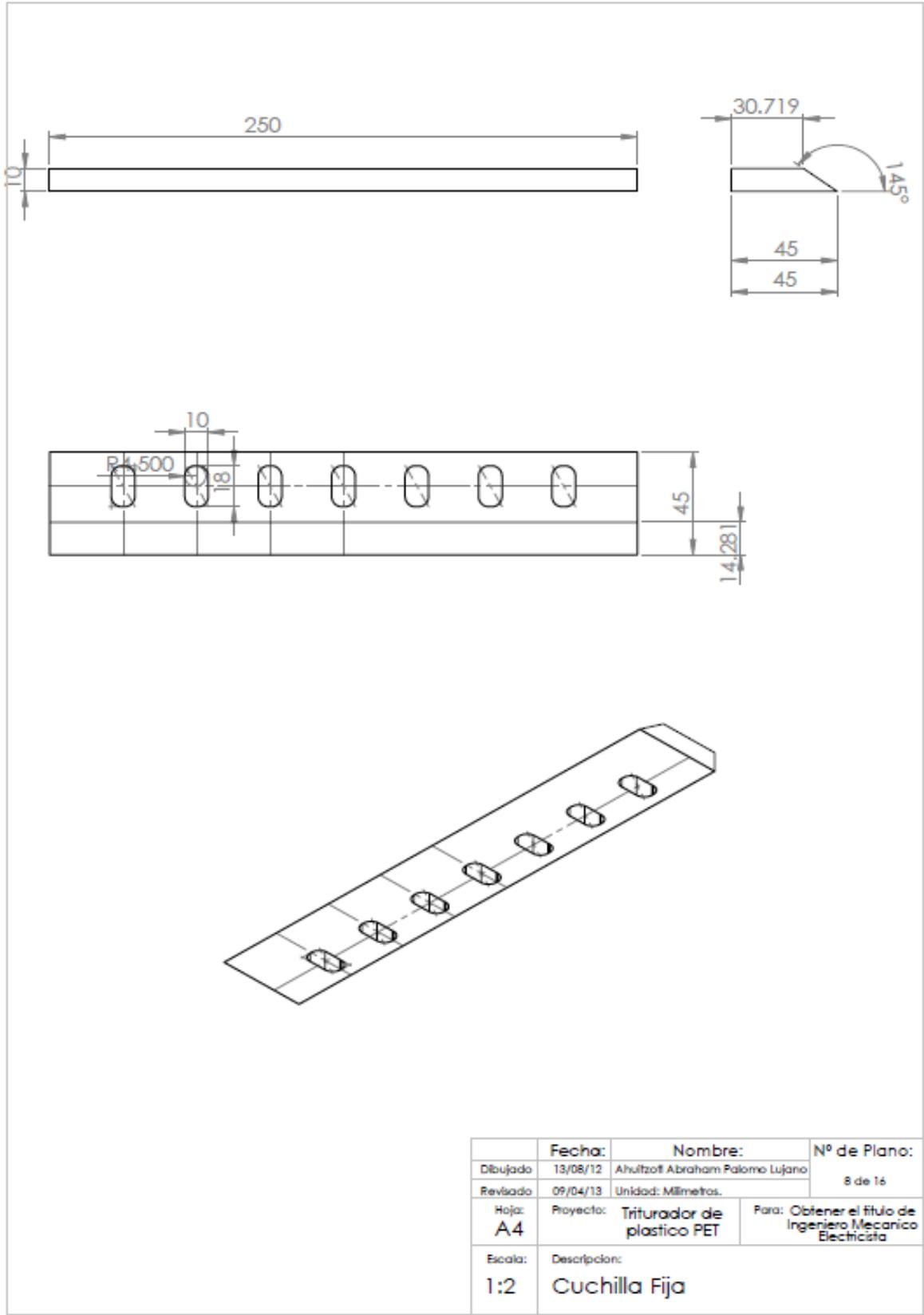


	Fecha:	Nombre:	Nº de Plano:
Dibujado	13/08/12	Ahutzoff Abraham Palomo Lujano	2 de 16
Revisado	09/04/13	Unidad: Milímetros.	
Hoja:	Proyecto:	Triturador de plástico PET	Para: Obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista
A4			
Escala:	Descripción:		
1:10	Chasis		

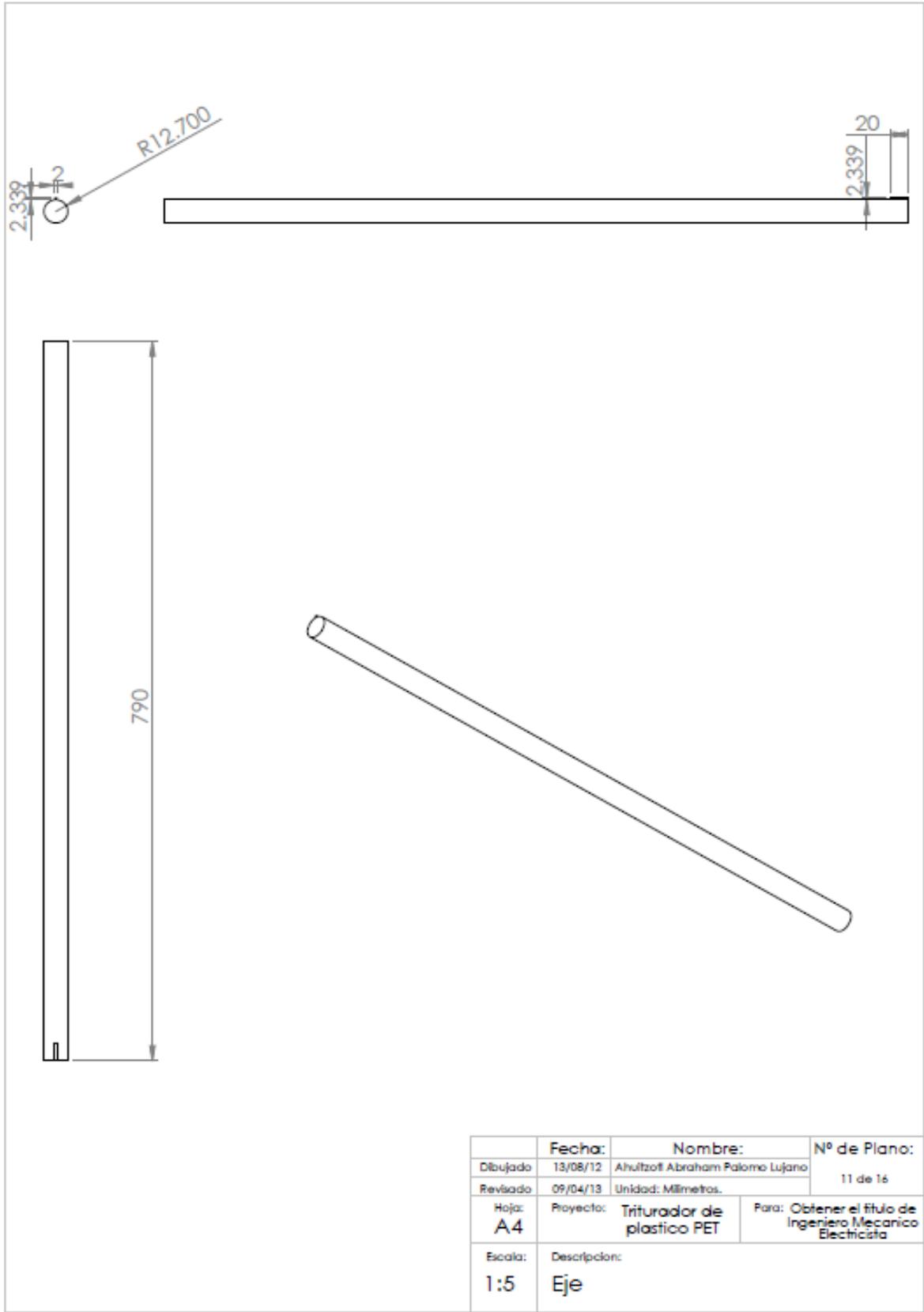






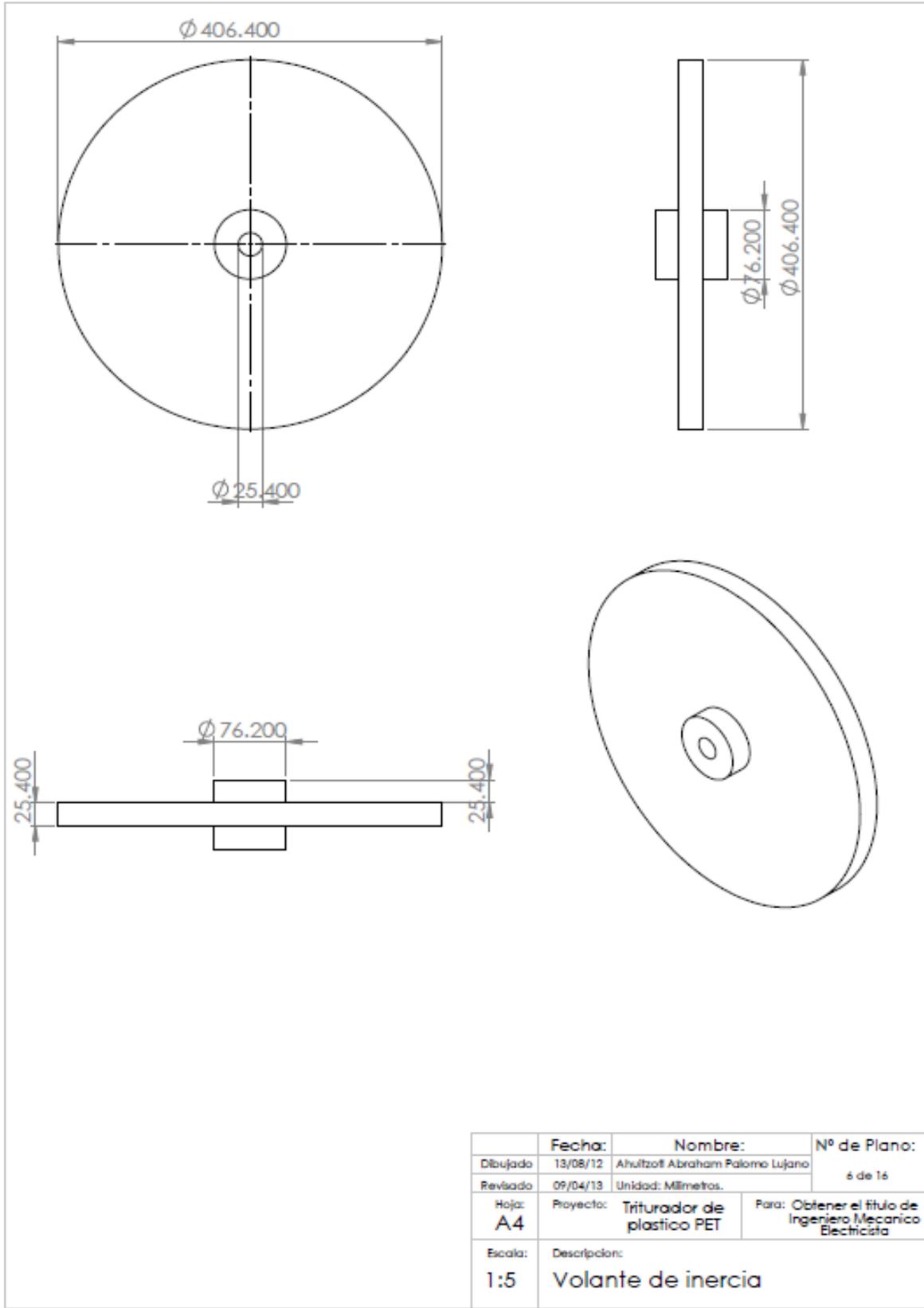


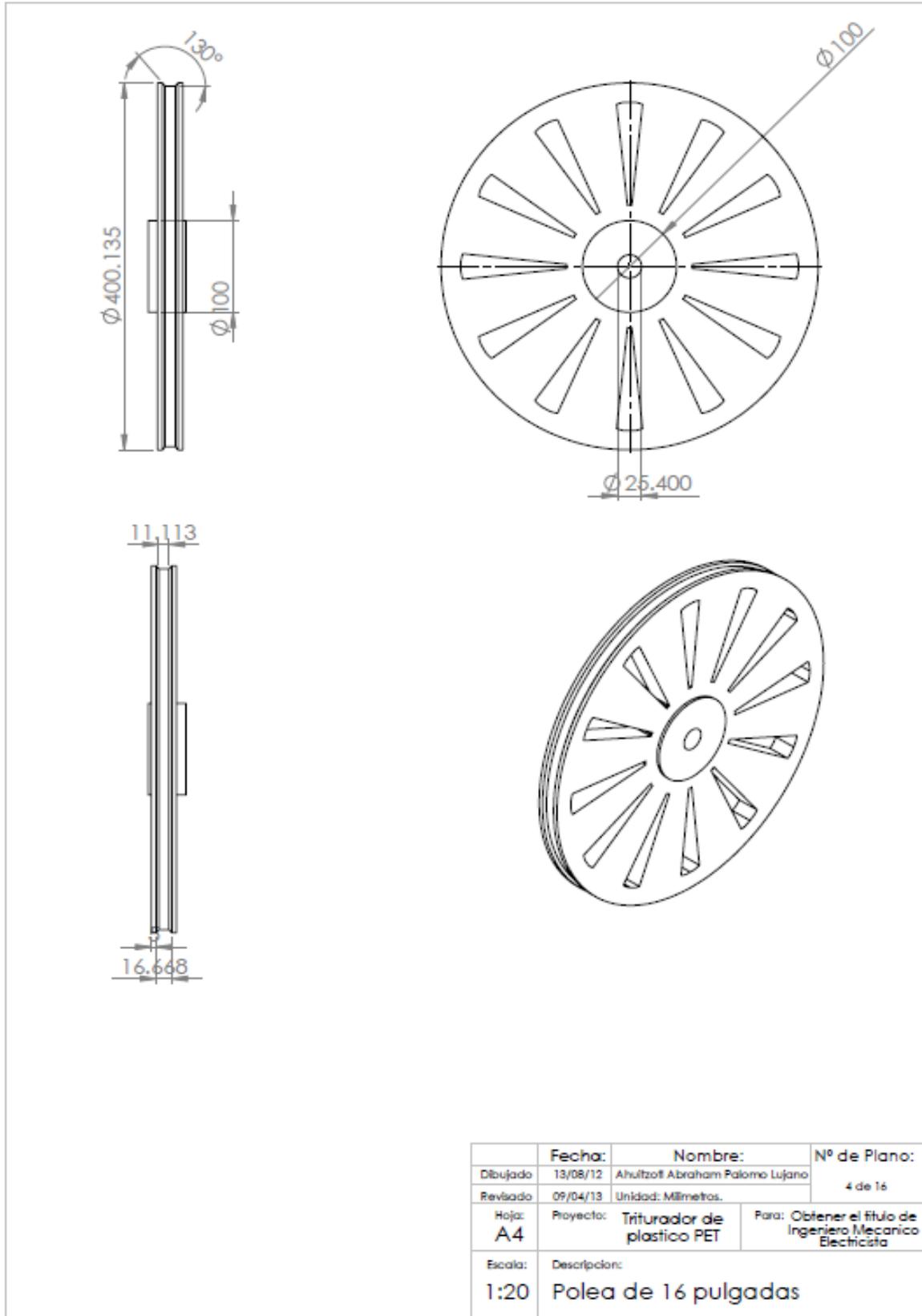
	Fecha:	Nombre:	Nº de Plano:
Dibujado	13/08/12	Ahultzoif Abraham Palomo Lujano	8 de 16
Revisado	09/04/13	Unidad: Milímetros.	
Hoja:	Proyecto:	Triturador de plástico PET	Para: Obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista
A4			
Escala:	Descripción:		
1:2	Cuchilla Fija		



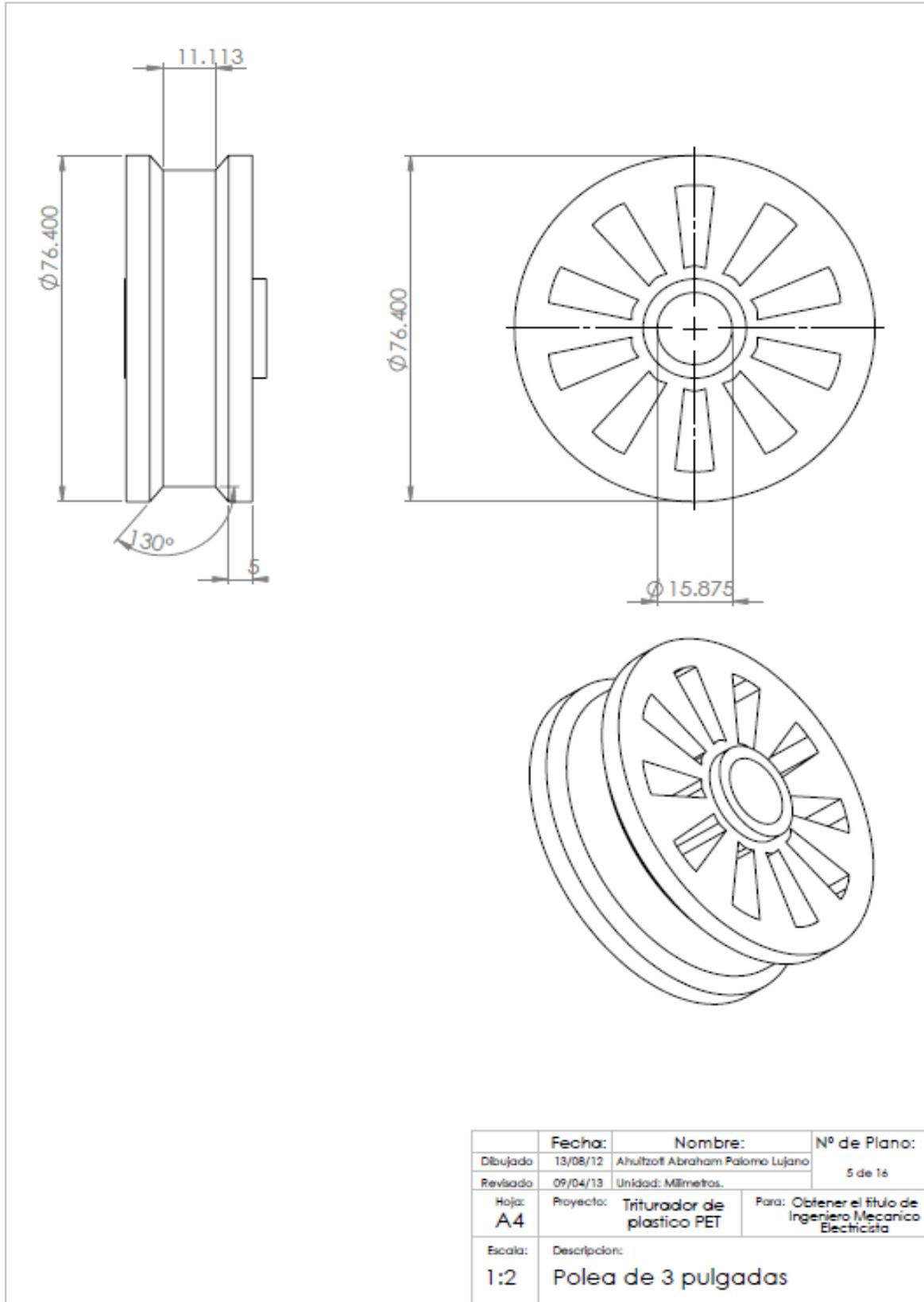
	Fecha:	Nombre:	Nº de Plano:
Dibujado	13/08/12	Ahuitzotl Abraham Palomo Lujano	11 de 16
Revisado	09/04/13	Unidad: Milímetros.	
Hoja:	Proyecto:	Triturador de plástico PET	Para: Obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista
A4			
Escala:	Descripción:		
1:5	Eje		

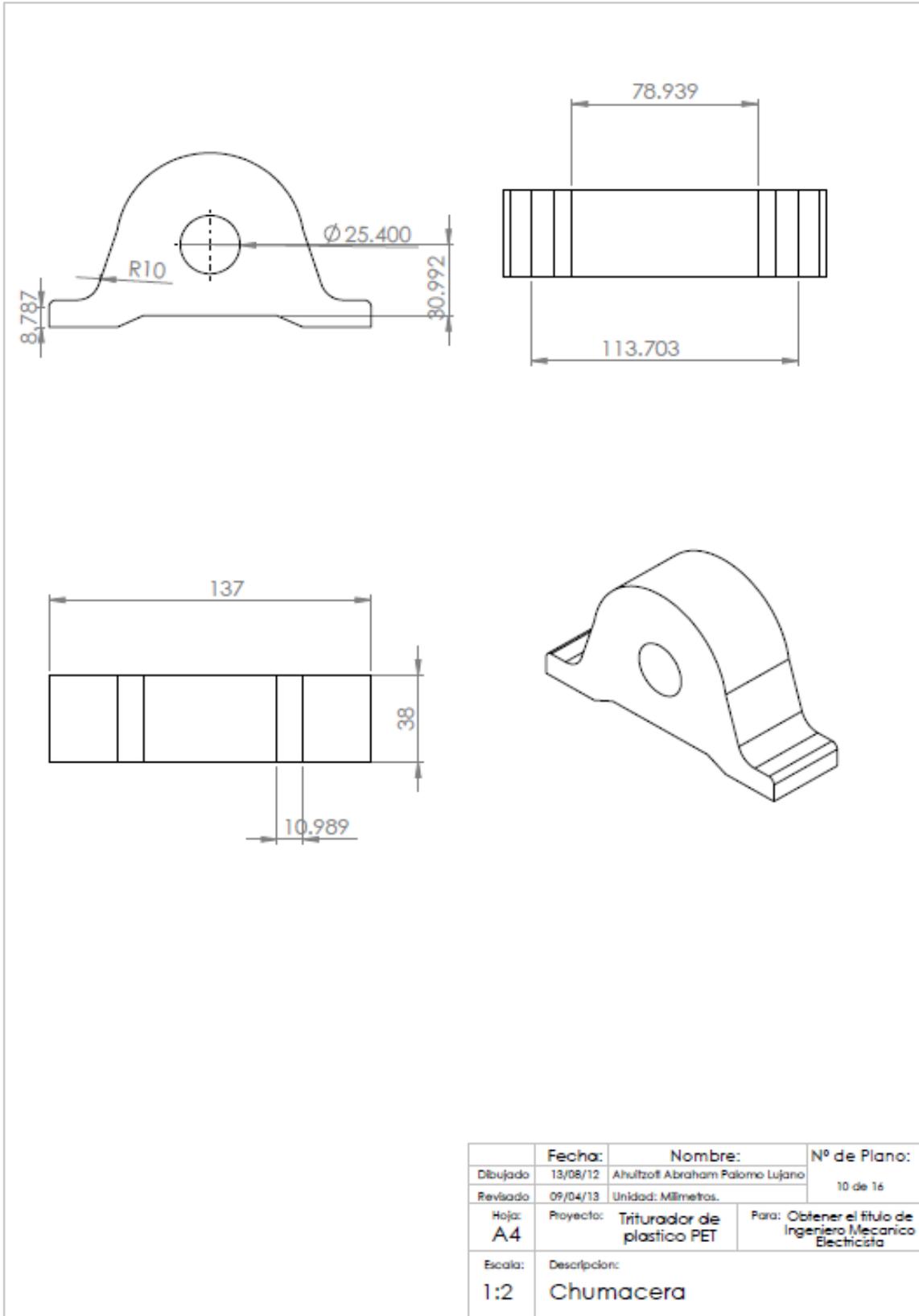


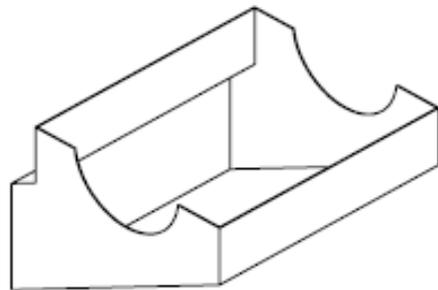
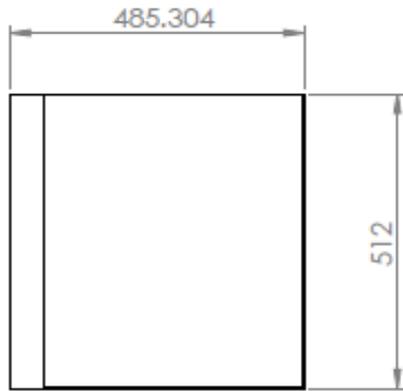
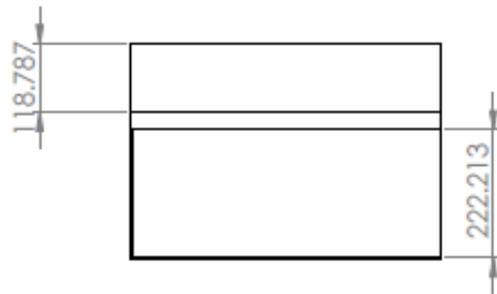
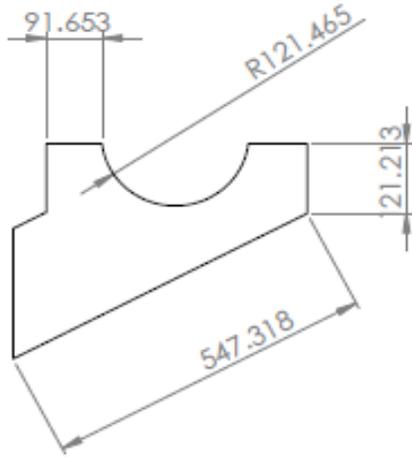




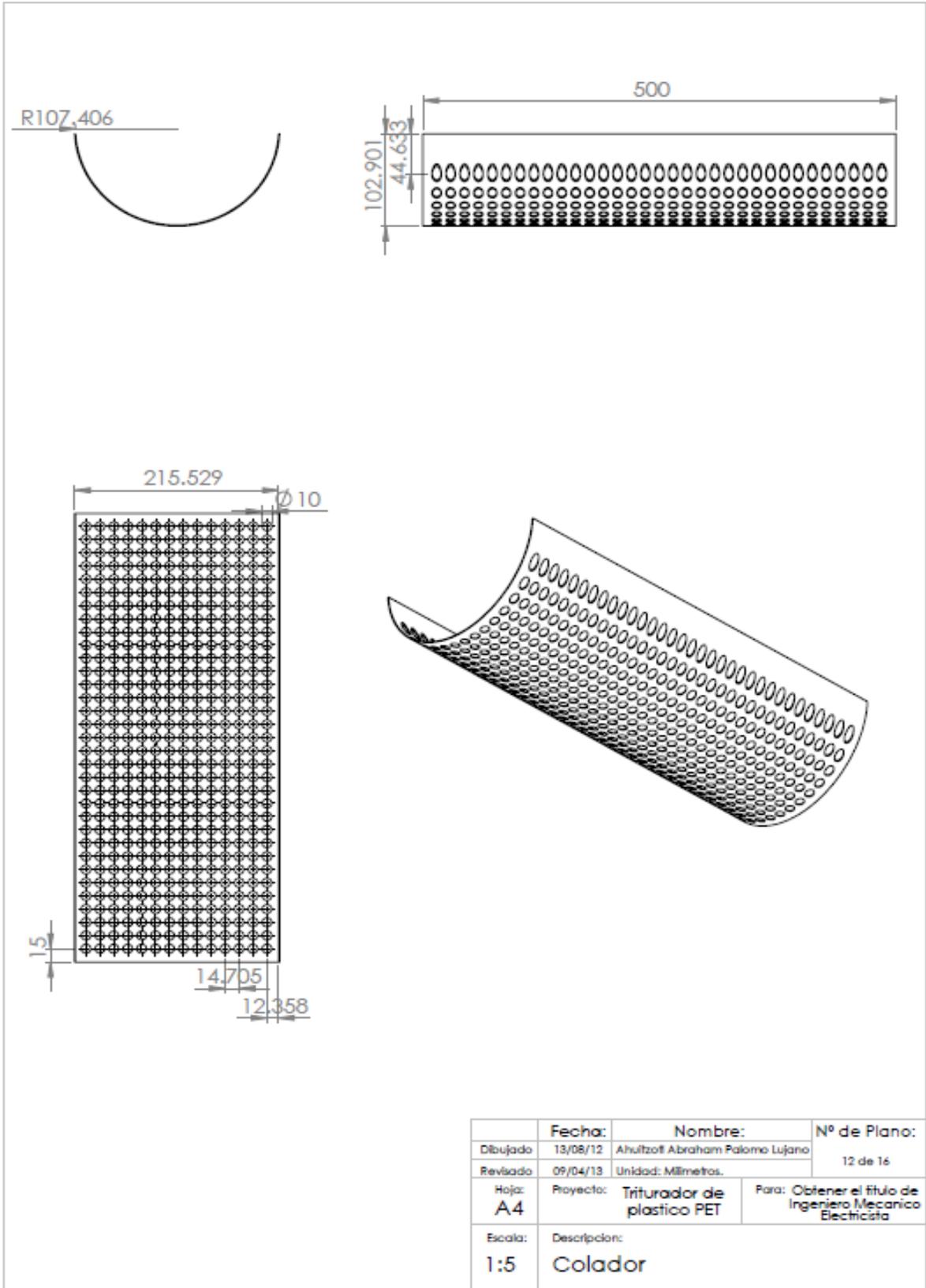
	Fecha:	Nombre:	Nº de Plano:
Dibujado	13/08/12	Ahutzoff Abraham Palomo Lujano	4 de 16
Revisado	09/04/13	Unidad: Milímetros.	
Hoja:	Proyecto:	Triturador de plástico PET	Para: Obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista
A4			
Escala:	Descripción:		
1:20	Polea de 16 pulgadas		



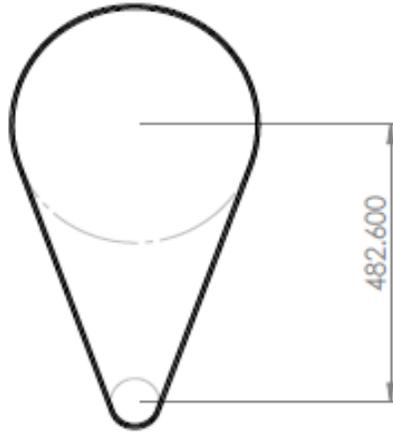




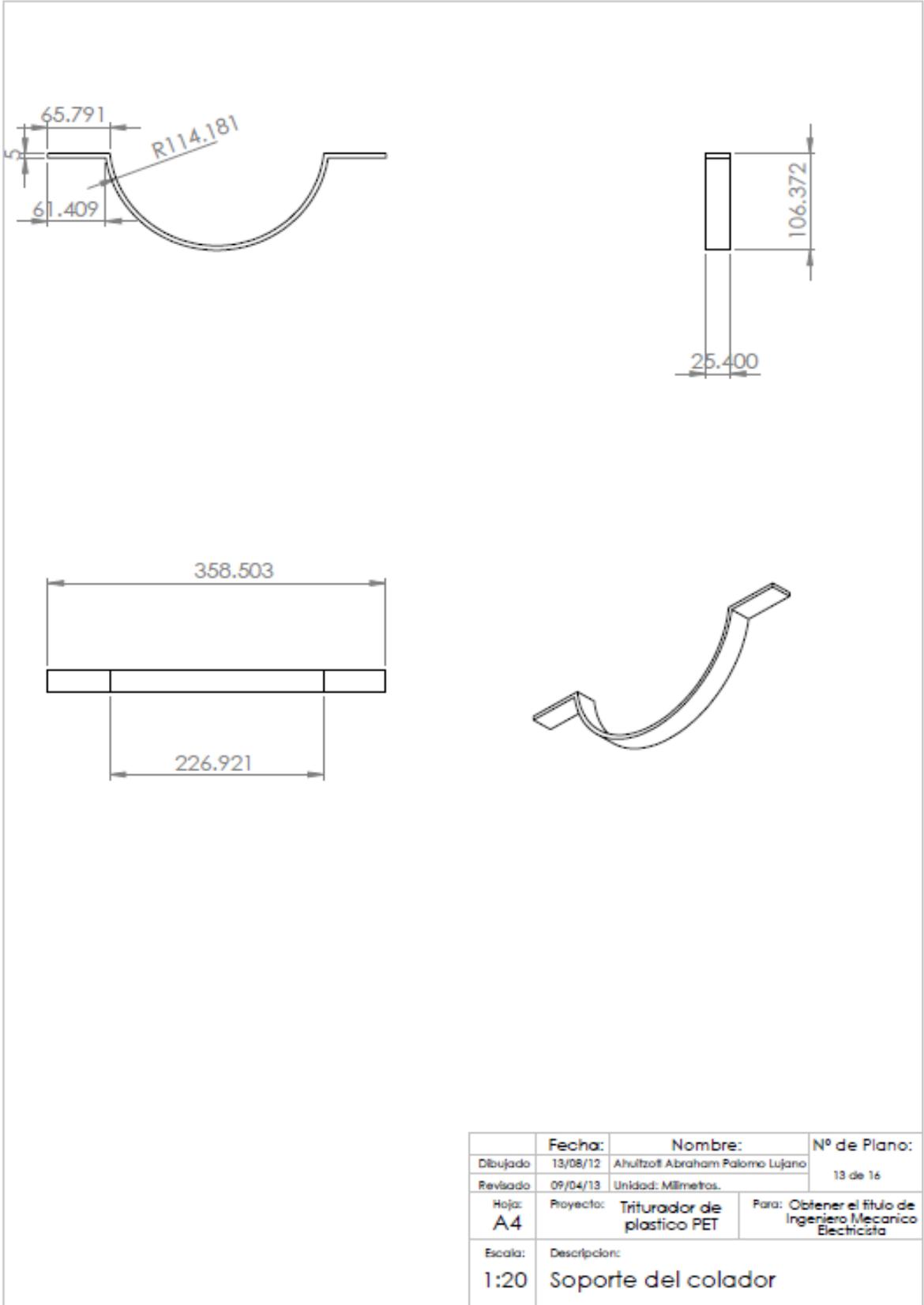
	Fecha:	Nombre:	Nº de Plano:
Dibujado	13/08/12	Ahultzoñ Abraham Palomo Lujano	14 de 16
Revisado	09/04/13	Unidad: Milímetros.	
Hoja:	Proyecto:	Triturador de plástico PET	Para: Obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista
A4			
Escala:	Descripción:	Receptor de molienda	
1:10			



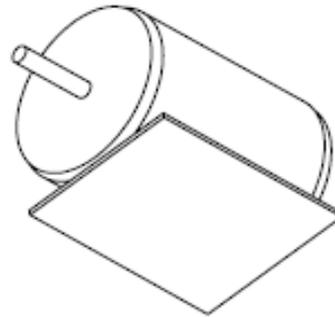
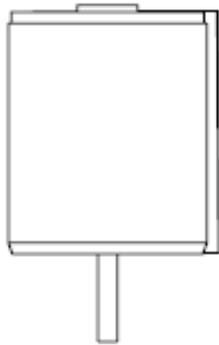
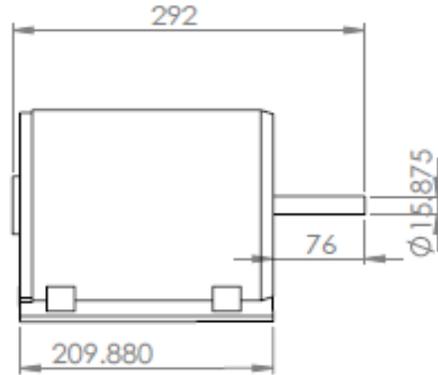
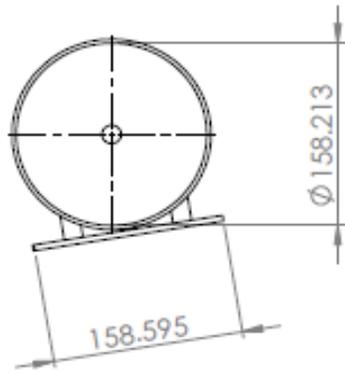
	Fecha:	Nombre:	Nº de Plano:
Dibujado	13/08/12	Ahuitzotl Abraham Palomo Lujano	12 de 16
Revisado	09/04/13	Unidad: Milímetros.	
Hoja:	Proyecto:	Para:	
A4	Triturador de plástico PET	Obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista	
Escala:	Descripción:		
1:5	Colador		



	Fecha:	Nombre:	Nº de Plano:
Dibujado	13/08/12	Ahutzoff Abraham Palomo Lujano	15 de 16
Revisado	09/04/13	Unidad: Milímetros.	
Hoja: A4	Proyecto:	Triturador de plástico PET	Para: Obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista
Escala: 1:10	Descripción:	Banda	



	Fecha:	Nombre:	Nº de Plano:
Dibujado	13/08/12	Ahultzoif Abraham Palomo Lujano	13 de 16
Revisado	09/04/13	Unidad: Milímetros.	
Hoja: A4	Proyecto:	Triturador de plastico PET	Para: Obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista
Escala:	Descripción:		
1:20	Soporte del colador		



	Fecha:	Nombre:	Nº de Plano:
Dibujado	13/08/12	Ahultzoñ Abraham Palomo Lujano	16 de 16
Revisado	09/04/13	Unidad: Milímetros.	
Hoja: A4	Proyecto:	Triturador de plástico PET	Para: Obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista
Escala: 1:10	Descripción:	Motor	



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

JONES CHRISTOPHER. (1992), “METODOS DE DISEÑO”. GUSTAVO GILI, S.A.

**JOSÉ ISIDRO GARCÍA MELO. (2004), “FUNDAMENTOS DE DISEÑO MECANICO”,
UNIVERSIDAD DEL VALLE.**

**HERIBERTO MAURY RAMIREZ, ENRIQUE ESTEBAN NIEBLES NUÑEZ, JAIME
TORRES SALCEDO. (2009), “DISEÑO PARA LA FABRICACION Y ENSAMBLE DE
PRODUCTOS SOLDADOS”. UNINORTE.**

**NORTON L., ROBERT. (1988), “DISEÑO DE MAQUINAS”. PRENTICE HALL-
HISPANOAMERICA.**

**ROBER L. MOTT P.E. (2006), “DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS”, PEARSON
EDUCACIÓN.**

RICHARDSON & LOKENSGARD. (2003), “INDUSTRIA DEL PLASTICO”,

**SINGLEY, JOSEPH E. (2002), “DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA”. MC GRAW-
HILL.**

**ULLMAN, DAVID G. (2003), “THE MECHANICAL DESIGN PROCESS”. Mc GRAW-
HILL.**



CODIGOS Y NORMAS.

ANSI-ASTM B483-78 RESISTENCIAS MINIMAS PARA ACEROS ASTM.

CATALOGO DE CARPENTER, ACEROS FORTUNA

SIEMENS CATALOGO GENERAL SD03 2005 MOTORES ELÉCTRICOS.

NORMA NMX-E-232-SCFI-1999, INDUSTRIA DEL PLÁSTICO - RECICLADO DE PLÁSTICOS - SIMBOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL CONSTITUTIVO DE ARTÍCULOS DE PLÁSTICO – NOMENCLATURA

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-081-ECOL-1994, LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE RUIDO DE LAS FUENTES FIJAS Y SU MÉTODO DE MEDICIÓN.

MESOGRAFÍA.

<http://www.sld.cu/sitio/otorrino/temas.php?idv=14365>

<http://www.paot.org.mx/gaceta/numero04/sustenta.html>

<http://www.acerosfortuna.com.mx/>

<http://www.distribuidoradeaceros.com.mx/cgi-bin/productos.pl?Family=5>

<http://www.acerosdeltoro.com/hub.cfm?idMod=3&idCat=0&idSpec=0&rnd=4.217252294353977&lang=es>

<http://www.cucei.udg.mx/~jtorres/clase1.html>

<http://www.centronacionalfem.com/metodo.html>

<http://www.mmc.igeofcu.unam.mx/cursos/ppddm/MetodoDeElementosFinitos.pdf>

<http://mundo-plastico.blogspot.com/>