



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE
TRITURADOR DE DESECHOS ORGÁNICOS**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

JORAM HERNANDEZ DIAZ

DIRECTORA DE TESIS

DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ

2015



Presidente: Dr. Rogelio González Oropeza

Vocal: Dra. Alejandra Castro González

Secretario: Dr. Francisco Javier Solorio Ordaz

1° Suplente: Dr. Jorge Luis Naude de la Llave

2° Suplente: M.I. Juan Carlos Cedeño Vazquez

Sitio donde se desarrolló el tema:

Planta de Biogás de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Ciudad Universitaria

Asesora del tema

Dra. Alejandra Castro González

Sustentante:

Joram Hernández Díaz

AGRADECIMIENTOS

En primera estancia debo agradecer enormemente a mis padres por brindarme el apoyo, mostrarme el camino y tenerme la tolerancia a lo largo de todo mi trayecto dentro de la facultad y con mucho énfasis en la realización de este trabajo. Gracias.

También agradezco a la Doctora Alejandra Castro por la orientación que tuvo conmigo desde la realización de mi servicio social y posteriormente por el apoyo para que se pudiera terminar este trabajo.

A mis amigos y compañeros que nos fuimos encontrando dentro de la facultad y en especial a Erik, que si bien o mal, también fue parte de este proyecto y que al final se tuvo que separar, a María José que estuvo presente también en el desarrollo del mismo.

Agradezco a CONACYT con el proyecto 188901 denominado “Estudio diseño e implementación de una planta piloto para la producción de biodiesel a partir de aceites comestibles usados”, por las becas que nos dio durante la realización de este proyecto, a las personas que hicieron la donación de algunas partes así como también a los técnicos del CCADET.

INDICE

	Paginas
INDICE DE FIGURAS	IV
INDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	IX
INTRODUCCION	X
OBJETIVO GENERAL	X
OBJETIVOS ESPECIFICOS	X
Capítulo 1. Generalidades.....	1
1.1 Residuos sólidos urbanos.....	1
1.2 Composición de los residuos sólidos urbanos.....	1
1.3 Residuos no biodegradables.....	4
1.4 Residuos biodegradables.....	4
1.5 Degradación anaerobia.....	5
Capítulo 2. Trituración.....	7
2.1 Trituración.....	7
2.2 Tipos de trituradores y molinos.....	9
2.3 Usos de la trituración.....	9
2.4 Trituradores de desperdicio de comida.....	11
2.4.1 Usos.....	11
2.4.2 Materia a triturar.....	11
2.4.3 Características estructurales.....	11
2.4.4 Principios de funcionamiento.....	13

2.5 Molinos.....	13
2.5.1 Molinos de martillos.....	13
2.5.2 Molinos de disco.....	14
2.5.3 Molinos de corte.....	15
Capítulo 3. Metodología de diseño.....	19
3.1 Procesos de diseño en Ingeniería Mecánica.....	19
3.2 Metodología QFD.....	22
3.3 Especificaciones.....	24
3.3.1 Identificación de cliente.....	24
3.3.2 Identificación de los requerimientos del cliente.....	24
3.3.3 Importancia relativa de los requerimientos.....	24
3.3.4 Traducción de los requerimientos en términos mensurables de Ingeniería.....	27
3.3.5 Establecimiento de las metas de diseño.....	28
3.3.6 Análisis funcional.....	28
3.4 Diseño conceptual.....	30
3.5 Diseño de detalle.....	33
3.6 Estudio de caso.....	33
Capítulo 4. Resultados prediseño.....	43
4.1 Identificación del cliente.....	43
4.2 Identificación de los requerimientos del cliente.....	43
4.3 Importancia relativa de los requerimientos.....	46
4.4 Traducción de los requerimientos del cliente.....	47

4.5 Establecimiento de las metas de diseño.....	49
4.6 Análisis funcional del prototipo de la trituradora.....	49
Capítulo 5. Resultados del diseño conceptual.....	55
5.1 Método pugh.....	55
5.2 Función <i>recibir</i> de la trituradora.....	56
5.3 Función <i>trituración</i> de la trituradora.....	57
5.4 Función <i>separar</i> de la trituradora.....	59
5.5 Función <i>expulsar</i> de la trituradora.....	61
Capítulo 6. Resultados del diseño de detalle.....	68
6.1 Cálculo de la potencia del motor.....	68
6.2 Diseño del eje de la trituradora.....	69
6.2.1 Diseño de cuñas.....	84
6.2.2 Rotores.....	86
6.2.3 Velocidad crítica de las flechas.....	87
6.2.4 Selección de rodamientos.....	89
6.2.5 Diseño de cuchillas.....	89
6.2.6 Costo del prototipo.....	91
6.3 Resultados de optimización.....	94
Capítulo 7. Conclusiones.....	96
Anexos. Planos del triturador.....	97
Referencias	

Índice de figuras

Figura 1.1	Generación de RSU a nivel nacional	2
Figura 1.2	Composición general de los residuos sólidos en México	3
Figura 1.3	Residuos no biodegradables	4
Figura 1.4	Residuos biodegradables	5
Figura 2.1	Fuerza de compresión	7
Figura 2.2	Fragmentación por impacto	8
Figura 2.3	Fragmentación por cizalla	8
Figura 2.4	Fragmentación por corte	8
Figura 2.5	Aplicación de los equipos de trituración	10
Figura 2.6	Partes de un triturador de comida	12
Figura 2.7	Características funcionales	13
Figura 2.8	Molino de martillos	14
Figura 2.9	Molino de discos	15
Figura 2.10	Rotor de corte paralelo y rotor de 6 discos	16
Figura 2.11	Molino de corte	17
Figura 3.1	Fases del proceso de diseño en ingeniería mecánica	19
Figura 3.2	Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones	20
Figura 3.3	Diseño de bloques para la metodología de diseño QFD	23
Figura 3.4	Clasificación de requerimientos	25
Figura 3.5	Enfoque visual del análisis funcional	29
Figura 3.6	Flujo representativo de la función mecánica	29
Figura 3.7	Brainstorming	30
Figura 3.8	Residuos recolectados	34

Figura 3.9	Triturador de residuos	34
Figura 3.10	Picado de residuos de trituración	35
Figura 3.11	Tanque receptor	36
Figura 3.12	Bomba monyo Mod. 35651	36
Figura 3.13	Reactor R-1	37
Figura 3.14	Reactor R-2	37
Figura 3.15	Desulfurador de biogás	38
Figura 3.16	Condensador	38
Figura 3.17	Medidor de gas	39
Figura 3.18	Bolsa de almacenamiento	39
Figura 3.19	Manómetro diferencial	40
Figura 3.20	Secuencia del tren de tratamiento anaerobio a la planta de biogás	41
Figura 4.1	Casa de calidad del triturador de desechos orgánicos	51
Figura 4.2	Diagrama funcional de entradas y salidas del triturador	52
Figura 4.3	Funciones principales del prototipo de trituradora	53
Figura 4.4	Funciones de servicio y sus interrelaciones	54
Figura 5.1	Bocetos para la función recibir del prototipo de la trituradora	56
Figura 5.2	Bocetos para la función recibir del prototipo de la trituradora	59
Figura 5.3	Bocetos para la función separar del prototipo de la trituradora	61
Figura 5.4	Bocetos para la función expulsar del prototipo de la trituradora	63
Figura 5.5	Modelo en 3D del prototipo de de la trituradora	64
Figura 5.6	Modelo 3D del prototipo de de la trituradora	64
Figura 5.7	Modelo 3D del prototipo de de la trituradora	64
Figura 5.8	Modelo en 3D de la carcasa de salida de la trituradora	65

Figura 5.9	Modelo en 3D del interior de la trituradora	65
Figura 5.10	Modelo 3D del interior de la trituradora	66
Figura 5.11	Modelo 3D del interior de la trituradora	66
Figura 6.1	Vista en 2D de la polea, chumaceras, eje y rotor de la trituradora	69
Figura 6.2	Diagrama de cuerpo libre del eje del prototipo de la trituradora	70
Figura 6.3	Volumen calculado de los ejes, rotores y cuchillas del prototipo de trituradora	72
Figura 6.4	Fuerzas cortantes y momentos a los que estará sometido el eje del prototipo de la trituradora en el plano XY	74
Figura 6.5	Fuerzas cortantes y momentos a los que estará sometido el eje del prototipo de la trituradora en el plano XZ	75
Figura 6.6	Factores superficiales para diversos acabados para el acero	80
Figura 6.7	Plano en 3D de la sección de rotor que recibe el esfuerzo	87
Figura 6.8	Selección del material y de tipo de mallado del eje de la trituradora	88
Figura 6.9	Análisis de la deflexión máxima aplicada en el eje de la trituradora	88
Figura 6.10	Chumacera del prototipo de la trituradora	89
Figura 6.11	Diagrama en 3D especificando las restricciones fijas y Fuerza aplicada a la cuchilla de corte	90
Figura 6.12	Diagrama en 3D del esfuerzo y la deformación máxima aplicada a una de las cuchillas del rotor	90

Índice de tablas

Tabla 1.1	Composición de los residuos generados en México	3
Tabla 2.1	Equipos de fragmentación	9
Tabla 2.2	Equipo mecánico y método de reducción de partículas	17
Tabla 3.1	Escala fundamental de comparación	26
Tabla 3.2	Ejemplo de matriz comparativa	26
Tabla 3.3	Ejemplo de matriz comparativa normalizada	27
Tabla 3.4	Traducción de requerimiento	28
Tabla 3.5	Niveles de traducción para el requerimiento	28
Tabla 3.6	Ejemplo de evaluación conceptual	31
Tabla 3.7	Modo de puntuación para la matriz de fallos y efectos	32
Tabla 3.8	Tiempos de operación en la planta	41
Tabla 4.1	Requerimientos generales	44
Tabla 4.2	Requerimientos obligatorios	45
Tabla 4.3	Requerimientos deseables	45
Tabla 4.4	Matriz comparativa de requerimientos	46
Tabla 4.5	Matriz comparativa de requerimientos normalizada	46
Tabla 4.6	Importancia relativa de requerimientos deseables	47
Tabla 4.7	Traducción de los requerimientos del dispositivo en términos medibles de ingeniería	48
Tabla 4.8	Metas de diseño para la trituradora	49
Tabla 4.9	Representación de los parámetros presentes en el prototipo de trituradora	53
Tabla 5.1	Opciones para satisfacer la función recibir	55
Tabla 5.2	Evaluación conceptual para la función recibir	57

Tabla 5.3	Planteamiento de opciones para satisfacer la función triturar	57
Tabla 5.4	Evaluación conceptual para la función trituración	58
Tabla 5.5	Opciones para satisfacer la función separar	60
Tabla 5.6	Evaluación conceptual para la función trituración	60
Tabla 5.7	Lluvia de ideas para satisfacer la función expulsar	62
Tabla 5.8	Evaluación conceptual para la función expulsar	62
Tabla 5.9	Matriz de fallas y efectos aplicada al dispositivo	67
Tabla 6.1	Características del motor del prototipo de la trituradora	68
Tabla 6.2	Coeficientes para la ecuación de factor superficial	81
Tabla 6.3	Intervalos de temperaturas para determinar el factor temperatura	81
Tabla 6.4	Factores de confiabilidad para la desviación estándar del 8%	81
Tabla 6.5	Constante de Neuber para aceros	83
Tabla 6.6	Tamaños estándar de cuñas y prisioneros	84
Tabla 6.7	Materiales usados para la construcción del prototipo de la trituradora	91
Tabla 6.8	Materiales que se adquirieron comercialmente	91
Tabla 6.9	Especificaciones del molino triturador	92
Tabla 6.10	Especificaciones del prototipo de la trituradora	93
Tabla 6.11	Comparación de la operación de la planta, con y sin el prototipo del triturador	94
Tabla 6.12	Especificaciones finales del prototipo del triturador	94

RESUMEN

En el presente trabajo se propone el diseño de un triturador de desechos sólidos orgánicos con medidas de $\frac{1}{2}$ a 1 m², que se instalara en una planta de biogás dentro de las instalaciones de Ciudad Universitaria la cual en un día normal de trabajo se tiene una carga de 40 a 60 Kg de residuos sólidos orgánicos por día, los cuales entran a la primera operación unitaria, donde hay que reducir el tamaño de 30cm a 3cm. Actualmente se usa un triturador de la marca Insinkerator de 1hp de potencia que en su operación se tiene que suspender por atoramientos que se presentan. Por lo cual, manualmente se procedía a picar los residuos para disminuir los residuos a 3cm. Esto implica que 3 personas lo hagan durante 3 horas. Con el diseño de un segundo triturador que sustituyera el trabajo manual, reduciría el tiempo de operación manual en un 50% y reduciendo el personal de trabajo a una sola persona. El diseño del triturador fue basado en uno de la marca restch de un costo aproximado de \$100,000 (cien mil pesos MN). Para el diseño, se siguió la metodología despliegue de funciones de calidad aplicando tablas de decisión y de comparación divididas en 4 etapas, cuenta con 3 rotores de 190mm de diámetro, una barra circular que es el eje de 350mm de longitud, 5 cuchillas con un ángulo de 45° para hacer más eficiente el corte y una carcasa diseñada en 4 tapas. Para el diseño se proyecta que el material fuera de acero inoxidable 304 y los modelos de diseño fueron hechos en el software NX 7.5, se tiene un motor de 1.5 hp que fue donado por la empresa géminis. Adicionalmente se requiere la compra de componentes como son: baleros, chumaceras y tornillos de diferentes medidas. Por otra parte la carga para la operación de la planta es de 40 a 60 kg por día con el triturador y se pretende aumentar en un 50%; asimismo llevando a la planta aumentar su volumen de biogás que es utilizado en el restaurante. En este trabajo, el horizonte de planeación para el triturador se estableció un máximo de \$10,000 (diez mil pesos MN), reduciendo en 10 veces el costo por la compra de un triturador comercial. Dada la fabricación de este prototipo se estima que su mantenimiento sea de 6 meses a 1 año, con un mínimo de 30 piezas y de un fácil ensamblado y adquisición de piezas.

INTRODUCCION

En el Distrito Federal, se generan 12 mil 500 toneladas de basura al día, depositadas en rellenos sanitarios, donde se generan gases de efecto invernadero como metano, bióxido de carbono, monóxido de carbono y dioxanos, entre otros. Aproximadamente en el distrito federal dentro de las toneladas de basura se encuentran un sinnúmero de productos entre los cuales principalmente destacan los residuos sólidos orgánicos con un 50% de los desechos totales, siendo el otro 50% residuos como: madera, vidrio, metal, etc.

Estos desechos (orgánicos) pueden ser usados para generar biogás como sustituto de gas LP en la planta de biogás del restaurante Cibarium, en este contexto el uso de una máquina que reduzca el tamaño de los desechos para acelerar el proceso de degradación de dichos desechos y por lo tanto la producción de gas metano es muy deseable. La generación de biogás implica un proceso de separación de desperdicios, eligiendo los componentes que favorezcan la producción del biogás, dichos componentes presentan tamaños muy diversos y grandes, es por eso que se plantea la necesidad de reducir y uniformizar el tamaño, por ello se considera el diseño de la trituradora que lleve a cabo esta actividad.

Dentro del mercado nacional de estos productos, existe una gama muy pequeña de equipos que se encargan de la trituración de los desechos orgánicos, la mayoría son pensados para grandes cantidades de residuos y los que se tienen para uso doméstico procesan una cantidad pequeña para las necesidades de la planta de biogás. Además de que el costo es elevado

Objetivo General

Diseñar un triturador de desechos orgánicos para una planta prototipo de producción de biogás en Ciudad Universitaria, disminuyendo el tiempo de cortado de la materia orgánica y aumentando la carga orgánica diaria.

Objetivos específicos

- Mediante el uso del Despliegue de la Función de Calidad (QFD) generar un diseño conceptual de una máquina trituradora de desperdicios domésticos orgánicos.
- Diseñar un prototipo de triturador para planta de biogás ubicada en CU.
- Reducir el tiempo de cortado de los desechos orgánicos y aumentar su carga en un 50%.

Capítulo 1 Generalidades

1.1 Residuos sólidos urbanos

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), que son los generados en las casas, como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas; son también los que provienen de establecimientos en la vía pública, o los que resultan de la limpieza de las vías o lugares públicos y que tienen características como los domiciliarios. Su manejo y control es competencia de las autoridades municipales y delegacionales. La generación de RSU, resultado de las actividades humanas, presenta un estado creciente, y su manejo es uno de los problemas con una alta prioridad en los últimos años, ya que la disposición de los RSU se realiza siempre en tiraderos abiertos al medio ambiente.

Las amenazas contra el medio ambiente son múltiples, pero una de las más graves proviene del aumento de los residuos y de los vertidos incontrolados, que provocan la producción de malos olores, destrucción del paisaje y de los recursos naturales, esto a su vez provoca la proliferación de plagas, insectos portadores de plagas, contaminación de los suelos, las aguas superficiales y el aire. Al paso del tiempo, se ha dado una explosión demográfica que tiene por consecuencia el crecimiento de las grandes urbes así como el consumismo, lo que ha provocado un crecimiento bastante notorio en la generación de los residuos. En el año 2009 se estimó una generación de 38.8 millones de toneladas de RSU en México (SEMARNAT, 2010), cifra que se ha incrementado en los últimos años, como se mencionaba arriba, por la masificación de las urbes.

El incorrecto manejo de los RSU, implica consecuencias severas, más aún tratándose de cantidades generadas en las grandes ciudades. La Ciudad de México es uno de los mayores generadores de residuos sólidos urbanos en América con 12, 589 toneladas al día (SMA-GDF, 2010).

La composición de los residuos sólidos urbanos en la Ciudad de México está compuesta en un 51% por residuos orgánicos, en especial desechos de comida, que en este trabajo se tratan de aprovechar para la producción de biogás en una planta prototipo que se encuentra en Ciudad Universitaria. Los Residuos de Manejo Especial (RME), son los generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos ni como RSU, o que son producidos por grandes generadores (producen más de 10 toneladas al año) de RSU. Su manejo y control es competencia de las autoridades estatales (SEMARNAT, 2010).

1.2 Composición de los residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos que se generan diariamente y principalmente en los hogares consisten en una mezcla heterogénea. En la Figura 1.1 se muestra la generación de residuos sólidos urbanos a nivel nacional.

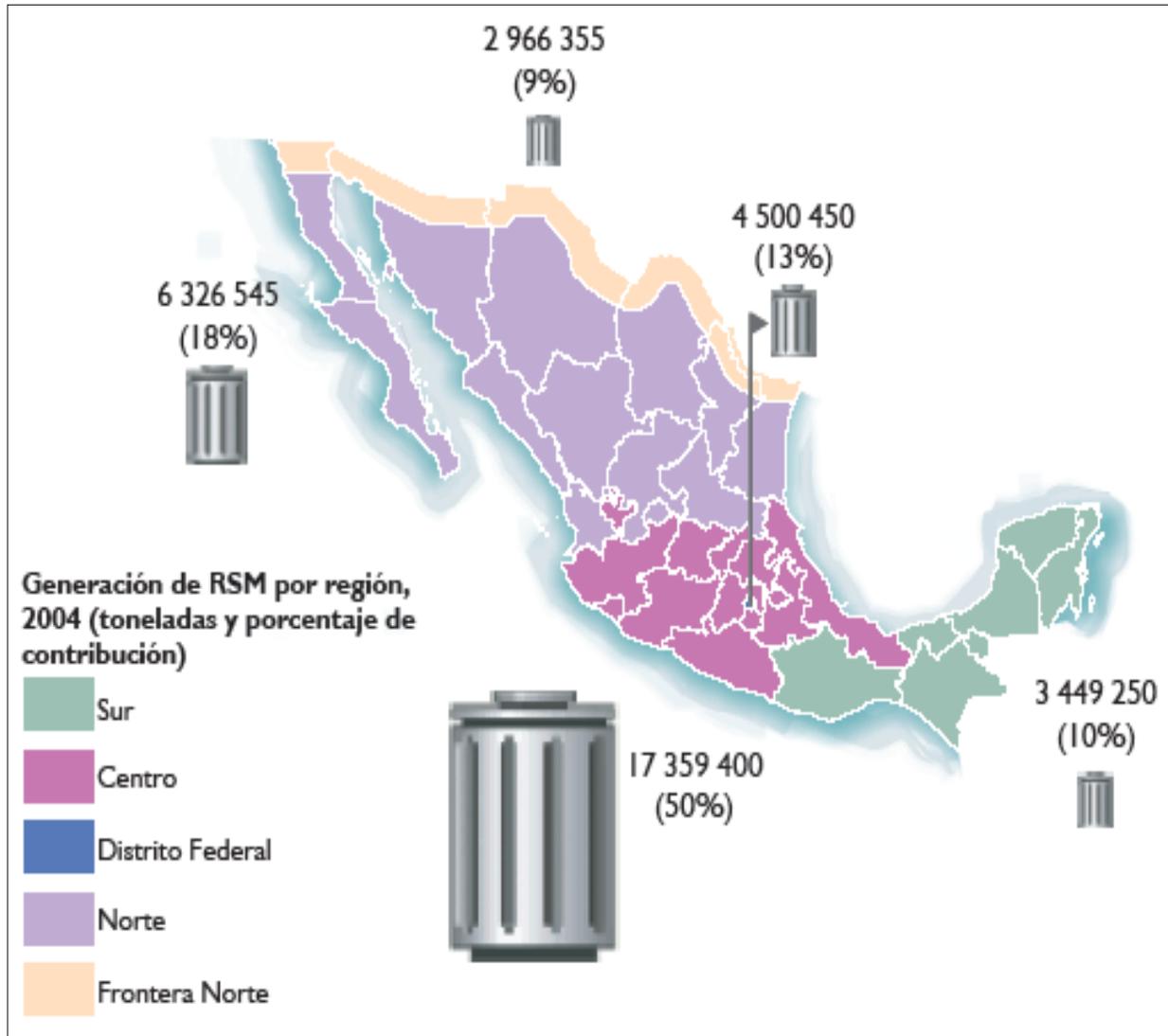


Figura 1.1 Generación de RSU a nivel nacional (SEMARNAT, 2004)

La tendencia que se ha observado durante los últimos 15 años es un incremento en la generación de RSU tan solo durante el periodo de 1997- 2004 la zona centro, norte y sur del país elevaron de manera significativa su generación de residuos (Rivas, 2013). En la Figura 1.2 se presenta la composición de los residuos sólidos urbanos.

En la Figura 1.2 se pueden apreciar distintos residuos, sin embargo el más predominante es el de los desechos orgánicos con un 50%. En la Tabla 1.1 se muestra la composición de los residuos sólidos en México en un periodo de 8 años.

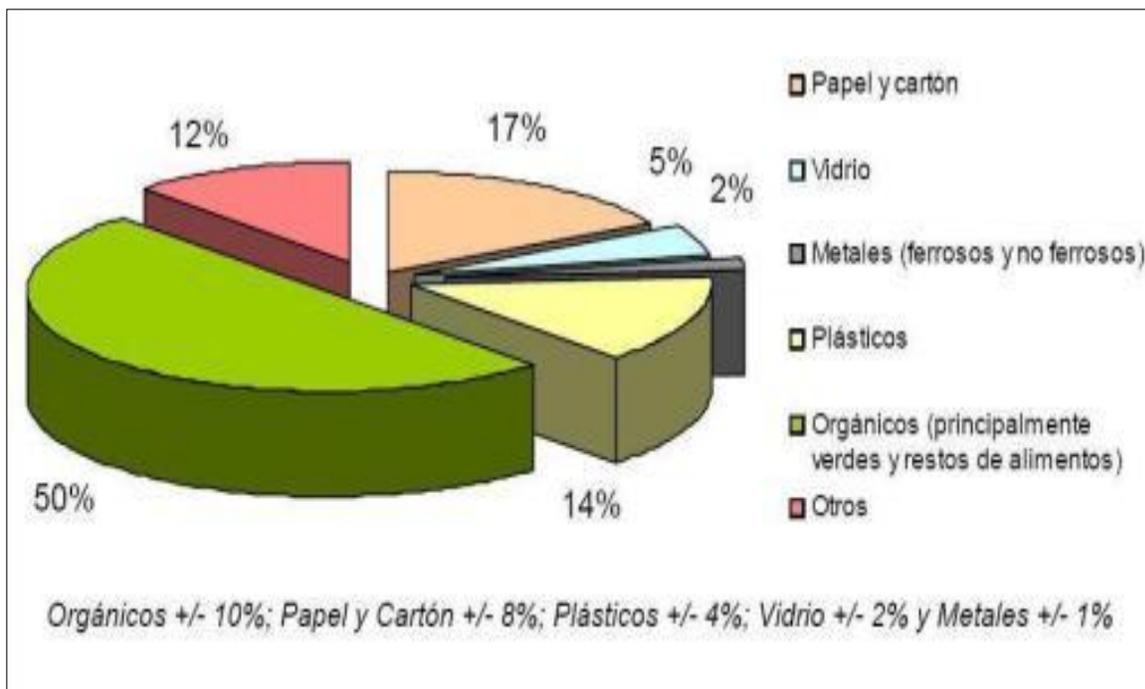


Figura 1.2 Composición general de los residuos sólidos en México (modificado de Ramos, 2013)

Tabla 1.1 Composición de los residuos generados en México (Martínez, 2009).

Material	Año									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Desecho de comida y jardines	16,008	16,219	16,104	16,500	16,859	16,593	17,441	17,968	18,335	
Residuos de pañales desechables	5,762	5,838	5,796	5,939	6,068	5,704	5,996	6,022	6,143	
Papel y cartón	4,298	4,355	4,324	4,430	4,527	4,905	5,160	5,275	5,388	
Vidrio	1,802	1,826	1,813	1,854	1,898	2,156	2,210	2,262	2,309	
Plástico	1,338	1,356	1,346	1,379	1,409	2,014	2,116	2,162	2,208	
Metal	886	898	891	913	933	1,047	1,160	1,186	1,210	
Textil	455	461	458	469	479	497	520	530	542	

1.3 Residuos no biodegradables

Toda la basura cae en dos categorías, biodegradable o no biodegradable. Por definición, la basura no biodegradable es cualquier artículo desechado que no puede ser procesado por organismos vivos. La basura no biodegradable se acumula en el ambiente debido a que no puede regresar a sus orígenes. Una definición más apropiada es:

Materiales que resisten la acción transformadora de los microorganismos o bien que por el tiempo excesivo que estos tardan en ser degradados se consideran como tales (Fraume, 2005). Hay diferentes tipos de residuos no biodegradables entre ellos se encuentran: papel, vidrio, metales, cartón, periódico, botellas y bolsas de plástico, ropa vieja y calzado, etc. (Figura 1.3).

En el presente trabajo se omitirá el tratamiento de estos residuos ya que existen diferentes técnicas para controlarlos como es el uso del reciclaje.



Figura 1.3 Residuos no biodegradables (Rivas, 2013)

1.4 Residuos biodegradables

Aquellos materiales que pueden ser transformados por microorganismos se les considera materiales biodegradables y son aquellos residuos que pueden ser descompuestos por la acción natural de organismos vivos, como; lombrices, hongos y bacterias (Fraume, 2005). De esta forma este tipo de desechos pueden ser utilizados de nuevo por la naturaleza. Los residuos biodegradables se pueden encontrar comúnmente en los residuos sólidos municipales (Figura 1.4) a veces llamados residuos municipales biodegradables; estos se derivan de todos los desechos de seres vivos y plantas, como, restos de alimentos, cascaras de fruta y verdura, huesos, papel y algunas telas naturales.



Figura 1.4 Residuos biodegradables (Rivas, 2013)

Atendiendo al término biodegradable, existe uno muy similar que es el compostaje que es el proceso en el que dicho producto biodegradable se transforma en composta o mejor dicho abono para las plantas.

1.5 Degradación anaerobia

La degradación anaerobia de la materia orgánica es un proceso muy complejo, todavía no esclarecido por completo, realizado por microorganismo anaeróbicos en ausencia de oxígeno, nitratos o sulfatos. La degradación anaerobia de la materia orgánica ocurre en cuatro fases. La necesidad de coexistencia de estos grupos de microorganismos, cada uno con distintas condiciones óptimas de crecimiento, implica la búsqueda de un compromiso en las condiciones del medio que sean compatibles con todos los grupos. A continuación se describen las cuatro fases principales (Arvanitoyannis y col., 2006).

Fase 1 Hidrólisis

Esta fase está compuesta por un gran número de microorganismos anaerobios que producen y excretan al medio, enzimas hidrolíticas, que a su vez estas enzimas fraccionan los polisacáridos que forman la biomasa en unidades elementales de azúcares simples, ácidos grasos o aminoácidos.

Fase 2 Acidogénesis

Los compuestos simples producidos por los microorganismos hidrolíticos pueden ser asimilados por ellos mismos o fermentados por otros microorganismos anaerobios estrictos. Este segundo grupo de microorganismos fermentadores produce una gran cantidad de ácidos orgánicos: láctico, acético y butírico.

Fase 3 Acetogénesis

Se realiza por un grupo especial de bacterias denominadas acetogénicas que tienen un crecimiento muy lento, ya que tardan en duplicarse de 1.5 a 4 días.

Fase 4 Metanogénesis

Como resultado de la acción de las bacterias acidogénicas y acetogénicas se produce una gran concentración de acetato, hidrogeno y CO_2 que son metabolizados por las bacterias metanogénicas, junto con el formato y el metanol, que también se había formado en las fases anteriores, con la producción de metano como producto final.

Capítulo 2 Trituración

2.1 Trituración

El objetivo de la trituración y molienda es producir partículas pequeñas de unas más grandes. Las partículas más pequeñas son deseables por su gran superficie o bien por su forma, tamaño y número. La reducción de tamaño de las partículas aumenta también la reactividad de los sólidos, permite la separación de los componentes no deseados por medios mecánicos y reduce el volumen de los materiales fibrosos que son así más fáciles de manejar (Mc Cabe y col., 2011). La trituración permite que, por ejemplo, los desechos sólidos que en condiciones normales llenarían un contenedor de 200 litros, sean convertidos en un tanque o block de tan solo 18dm³. Ello implica menos de la décima parte del volumen regular de los residuos sólidos. Con esta medida, un camión que normalmente transporta entre 4 y 5 toneladas de residuos, podría trasladar una carga de por lo menos el doble de lo habitual (Juárez, 2012).

Los residuos sólidos urbanos pueden fragmentarse de distintas formas, las máquinas que se encargan de triturarlos o molerlos ocupan cuatro métodos: Estos son compresión, impacto, frotamiento por cizalla y corte (Ramos, 2013). En los equipos de compresión se aplican fuerzas denominadas de compresión que se ejercen en forma perpendicular a la superficie del material, como se visualiza en la Figura 2.1. Este método se usa para la reducción de sólidos duros, obteniéndose poca cantidad de partículas finas. Con las máquinas de impacto, la materia a reducir choca a gran velocidad con el equipo, fragmentándola (Figura 2.2). En este método se pueden obtener partículas gruesas, medianas y finas.

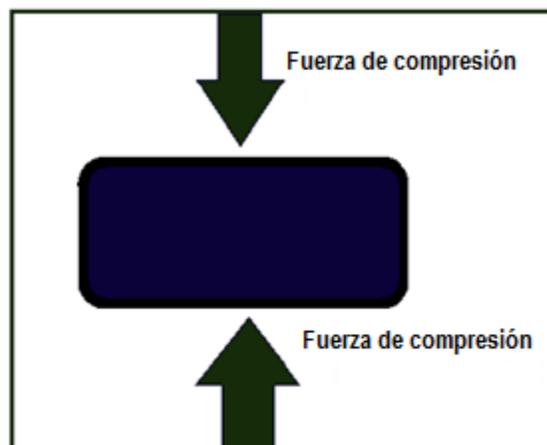


Figura 2.1 Fuerza de compresión (elaboración a partir de Ramos, 2013)

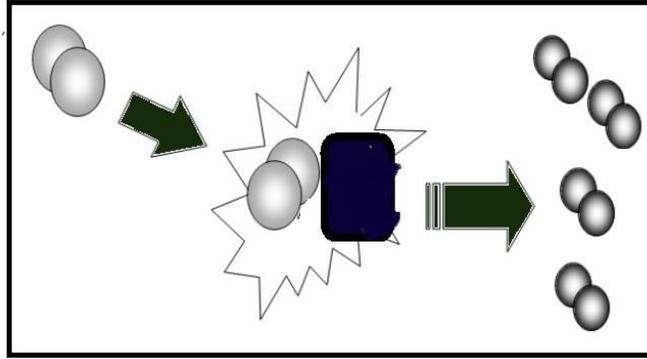


Figura 2.2 Fragmentación por impacto (elaboración a partir de Ramos, 2013)

Con los equipos que trabajan con el método de frotamiento de cizalla se pueden obtener partículas finas a partir de materiales blandos y no abrasivos como se puede observar en la Figura 2.3. El método de corte proporciona un tamaño de partícula definido. Un diagrama del método se muestra en la Figura 2.4.

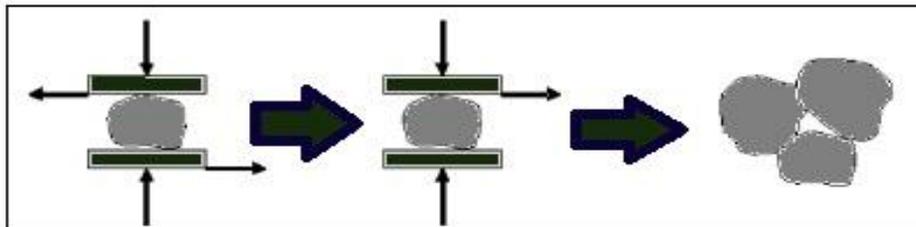


Figura 2.3 Fragmentación por cizalla (elaboración a partir de Vásquez, 2013)

El método de corte proporciona un tamaño de partícula definido. Un diagrama del método se muestra en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Fragmentación por corte (elaboración a partir de Vásquez, 2013)

2.2 Tipos de trituradores y molinos

Los equipos para reducir el tamaño se dividen en trituradoras, molinos, molinos ultra finos y máquinas cortadoras. Las trituradoras se enfocan en el trabajo pesado de romper grandes piezas de material sólido en pequeños trozos. Generalmente la trituración se divide en trituración primaria y trituración secundaria. La primera consiste en fragmentar los grandes sólidos en trozos de 15 a 25 cm. La segunda fragmenta estos trozos en partículas de un 1 cm aproximadamente (Rubio, 2005).

Los molinos reducen el material recibido (generalmente no mayor a 25 cm) prácticamente a polvo. El producto de un molino intermedio puede pasar por un tamiz de malla de 0.425 mm de apertura. Los molinos ultra finos usan tamiz de malla de 0.075 mm de apertura, estos molinos aceptan partículas de alimentación de un tamaño de 5 cm o menor (Ramos, 2013). En la Tabla 2.1 se muestra la relación del tipo de máquina con el método de fragmentación utilizado.

Tabla 2.1 Equipos de fragmentación (elaboración a partir de Ramos, 2013)

EQUIPO	FUERZA	PRINCIPIO
MOLINOS DE DISCO	CIZALLA	FROTAMIENTO
RODILLOS	COMPRESIÓN	PIEDRA DE MOLINO
TRITURADORES	COMPRESIÓN	COMPRESIÓN
MOLINO	IMPACTO	CASCANUECES
MARTILLO	IMPACTO	IMPACTO(MARTILLO)

2.3 Usos de la trituración

La trituración reduce el volumen, lo que genera ahorro en el almacenaje, transporte y disposición final de residuos. Lo que era un residuo puede pasar a ser un producto o materia prima para reciclar. Ejemplos de esto son las llantas, perfiles de aluminio, madera, papel, cartón, etc. Triturar también previene el uso indebido de residuos de producción. Tal es el caso de la venta de medicamentos sin receta o caducos. Evita que productos entren en el mercado negro. Como material confidencial y productos propios de la piratería (discos, playeras, tenis, ropa, etc.)

El tamaño de las partículas afecta la transformación biológica del sustrato. Las partículas relativamente grandes tienen un tiempo de descomposición mayor y entonces el tipo de sustrato determina el nivel de actividad bioquímica que ocurre en el reactor (Henze, 2008). La accesibilidad de los microorganismos al material sólido y la hidrólisis de los componentes poliméricos complejos, constituyen el paso limitante en los procesos biológicos. Una forma de mejorar el desarrollo de los digestores que tratan residuos sólidos urbanos es la reducción del tamaño de partícula. El pretratamiento del sustrato por la desintegración mecánica (trituration) tiene efectos positivos en la biodegradabilidad anaerobia del sustrato a través del incremento de la superficie específica disponible en el medio (Esposito y col, 2011).

Por otra parte (Hills y Nakao, 1984) trabajaron con desechos de tomate picados con un tamaño de partícula de 1.3 a 20mm, reportando que la tasa de producción de biogás y la reducción de los sólidos son inversamente proporcionales al diámetro del sustrato. Por lo tanto, la reducción del tamaño de partícula y el incremento resultante de la superficie específica disponible representa una opción para el incremento en el rendimiento de degradación y la aceleración del proceso de digestión.

La Figura 2.5 muestra las aplicaciones de los equipos de trituración para la cogeneración de energía eléctrica y térmica mediante la obtención de materia prima para la generación de energía a partir de desechos como llantas, plásticos y residuos sólidos urbanos.



Figura 2.5 Aplicación de los equipos de trituración (elaboración a partir de UNTHA UK, 2015)

2.4 Trituradores de desperdicios de comida

Este tipo de trituradores utilizan el método de impacto y se encuentran normalmente en el fregadero de la cocinas, muele sin esfuerzo los desperdicios de comida en diminutas partículas que se tiran automáticamente por el desagüe de la cocina (Insinkerator, 2015).

2.4.1 Usos

Los desperdicios de comida consisten en alrededor del 20% de toda la basura doméstica. Estos, después de que han pasado por un triturador de desperdicios, se pueden usar para crear productos biosólidos o para producir biogás como parte de un planteamiento holístico de gestión de los desperdicios. Las bacterias en general solo pueden utilizar materia orgánica en forma soluble. Un pretratamiento físico incrementa la facilidad de acceso de los microorganismos a las partículas del residuo, debido a la ruptura de grandes estructuras en cadenas más cortas, incrementando la solubilidad del sustrato, lo que permite mejorar la velocidad y el rendimiento del proceso para obtener biogás. Debido los residuos sólidos urbanos es un tipo de sustrato que contiene grandes cantidades de humedad y fibras, un pretratamiento mecánico es necesario para aumentar la uniformidad y la superficie específica, mejorando la eficiencia del proceso posterior (Luo y col, 2009).

Cuando se usa el material reciclado como fuente de energía, acondicionador del suelo o como fertilizador, el ciclo comienza otra vez. Los desperdicios de comida se tratan de una forma higiénica e instantánea en lugar de dejarlos en un basurero para fomentar olores, bacterias e insectos. Se tiran menos desperdicios de comida a los rellenos sanitarios que contribuyen a las emisiones de metano y a otras emisiones de gas invernadero. Así mismo también existen menos desperdicios de comida que se tienen que recoger y transportar a esos rellenos sanitarios.

En algunas zonas del Reino Unido, las autoridades municipales están pagando a las personas para que se instalen trituradores de desperdicio de comida en su fregadero. Se estima que cada triturador de desperdicios de comida puede ahorrar al ayuntamiento 19 libras esterlinas al año una cifra que puede ser reflejada en facturas más baratas de impuesto municipal (Insinkerator, 2015).

2.4.2 Materias a triturar

Las materiales que se trituran son principalmente desechos de cocina, como cáscaras de fruta, sobrantes de comida (pan, carne, pastas, etc.) Algunos trituradores pueden reducir coco y hueso.

2.4.3 Características estructurales

Los trituradores de comida están hechos en su mayoría de acero inoxidable, ya que trabajan con materia orgánica lo cual provoca la oxidación y rápido desgaste de un acero común. Este tipo de trituradoras está compuesto por 12 partes principales. A continuación se muestra un esquema en la Figura 2.6 de las partes de un triturador de comida. Como se puede ver las partes encargadas de la trituración son la cámara de trituración, los fuertes componentes de acero inoxidable, las lengüetas giratorias y el motor de inducción que se encarga de transmitir el torque. La cámara de trituración tiene un área de corte de 10 cm^2 , la cual limita el tamaño de los desechos sólidos urbanos a introducir. También cuenta con una llave allen ($\frac{1}{4}$ pulg) de autoservicio la cual nos ayuda a dar vueltas al eje del motor permitiendo y facilitando su funcionamiento ya que el motor puede atascarse de vez en cuando.

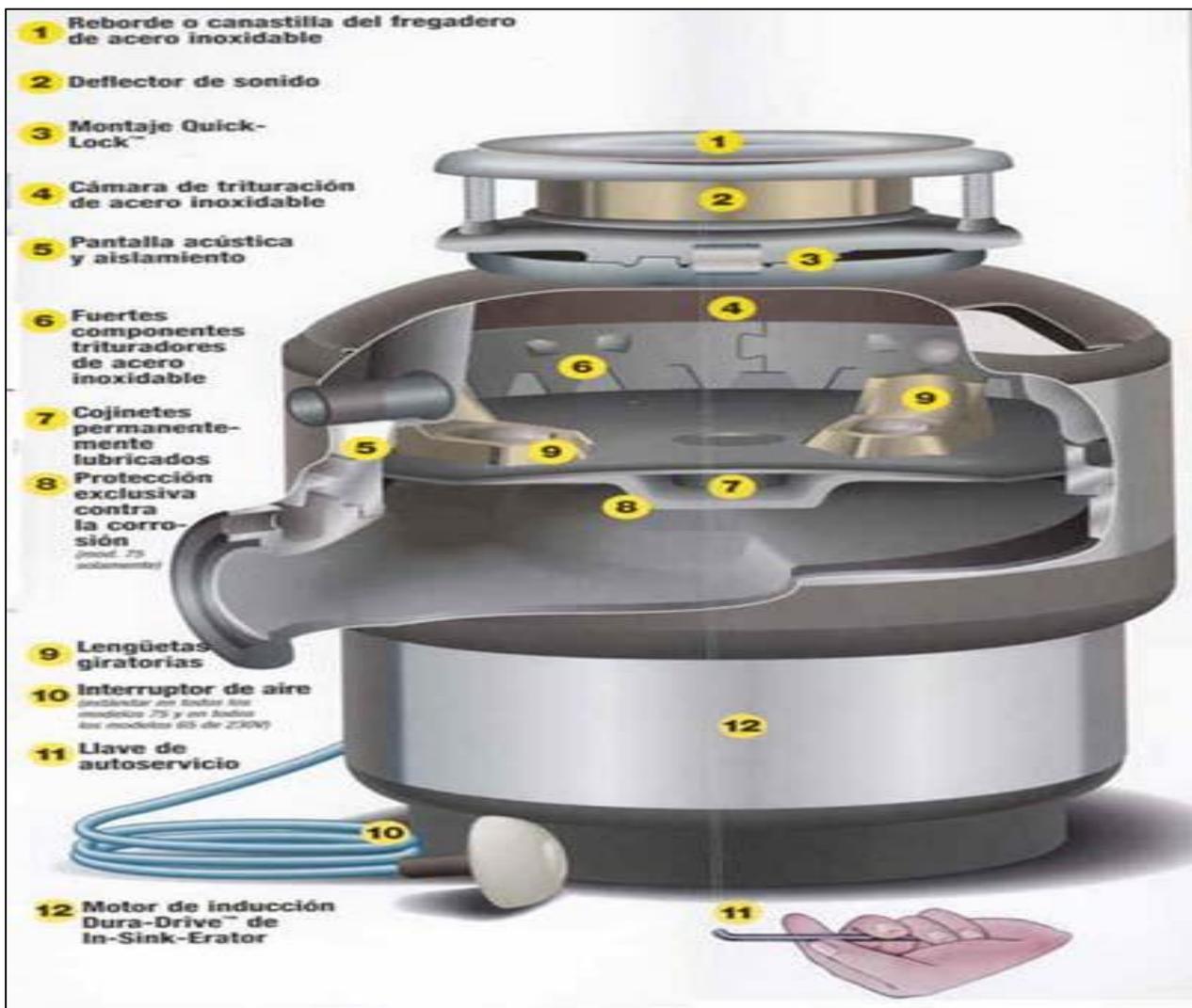


Figura 2.6 Partes de un triturador de comida (Insinkerator, 2015)

2.4.4 Principios de funcionamiento

El funcionamiento de un triturador de comida es sencillo, pues consiste en mantener un flujo constante de agua a través del triturador, encender el mismo y acto seguido dejar caer desperdicios y desechos de comida (partículas grandes) en su cámara de trituración, los desechos al chocar con las lengüetas girando a gran velocidad se parten en partículas más pequeñas permitiendo su paso hacia los dientes de corte estacionario. Finalmente los desechos del triturador van al desagüe o un sistema de almacenamiento según sea el caso. En la Figura 2.7 se muestra un esquema del funcionamiento del triturador.

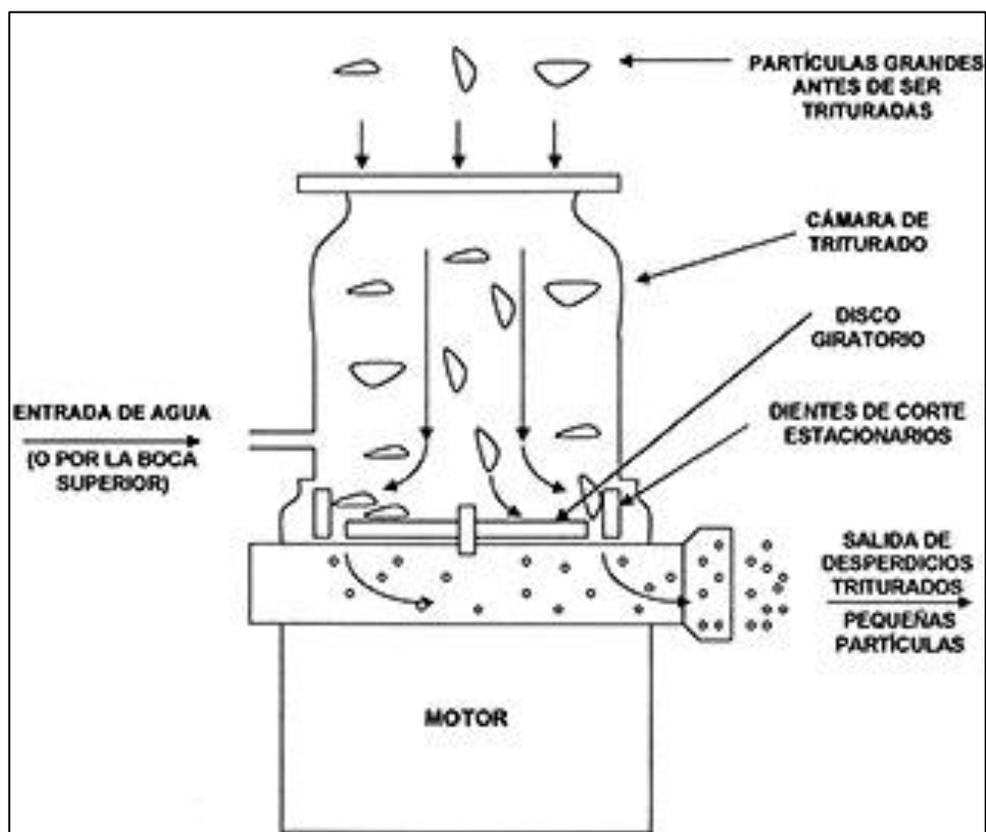


Figura 2.7 Características funcionales del triturador (Insinkerator, 2015)

2.5 Molinos

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

2.5.1 Molinos de martillos

Consiste en una serie de barras de libre movimiento o martillos los cuales están sujetos a pivotes y estos a su vez a un eje rotatorio. En la Figura 2.8 se observa el funcionamiento, primero el material para alimentar la maquina entra por la tolva, acto seguido son quebradas por los martillos para luego pasar por la criba. Los pivotes cumplen una función especial ya que ayudan a los martillos a transferir energía de impacto hacia el material permitiendo reducir el desgaste en rodamientos y martillos.

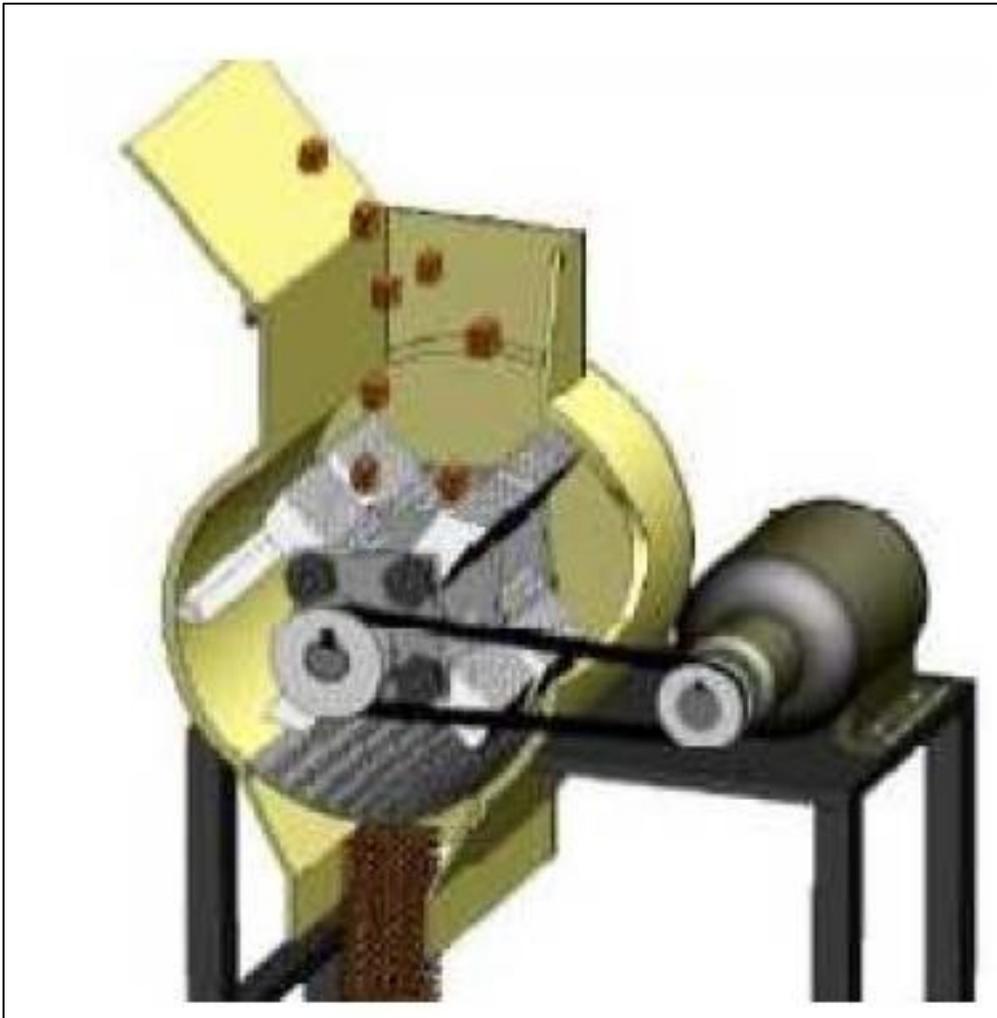


Figura 2.8 Molino de martillos (Ramos, 2013)

2.5.2 Molino de discos

Este tipo de molinos posee uno o dos discos que a su vez contienen una serie de dientes concéntricos que trabajan a velocidades altas como se muestra en la

Figura 2.9. Para el caso de un solo disco, las hileras de dientes del plato se encuentran organizadas de manera que encajan perfectamente con los dientes de la pared de molienda; en cambio para el caso de doble disco las hileras de un disco encajan entre los dientes del otro disco, permitiendo triturar todo lo que atravesase entre ellos.

En el molino de doble disco, uno puede estar estático o ambos girar pero en sentidos contrarios, sus velocidades van desde los 600 rpm hasta los 1500 rpm. En la Figura 2.9 se muestra un molino de la marca RESTCH.



Figura 2.9 Molino de discos (Restch, 2015)

Algunos de los materiales a triturar son , porcelana eléctrica, carbón, cerámicas dentales, cerámicas sintetizadas, coque, creta, cuarzo, escorias, esteatita, ferroaleación, granito, hidroxapatita, hormigón, lodo de depuradora ,muestras de suelo secas, núcleos de perforación, suelos, vidrio, yeso, etc.

2.5.3 Molinos de corte

En el molino de corte la trituración se realiza por efecto de corte y cizalla. El material alimentado entra en el campo de acción del rotor y es triturado entre éste y los listones de corte incorporados en la carcasa. El rotor de 6 discos consta de

discos de corte reversibles de metal duro colocados en forma de espiral que van cortando el material sucesivamente. Las cuchillas del rotor de corte paralelo realizan la tritución con una poderosa acción de corte. En la Figura 2.10 se puede observar los diferentes tipos de rotores.

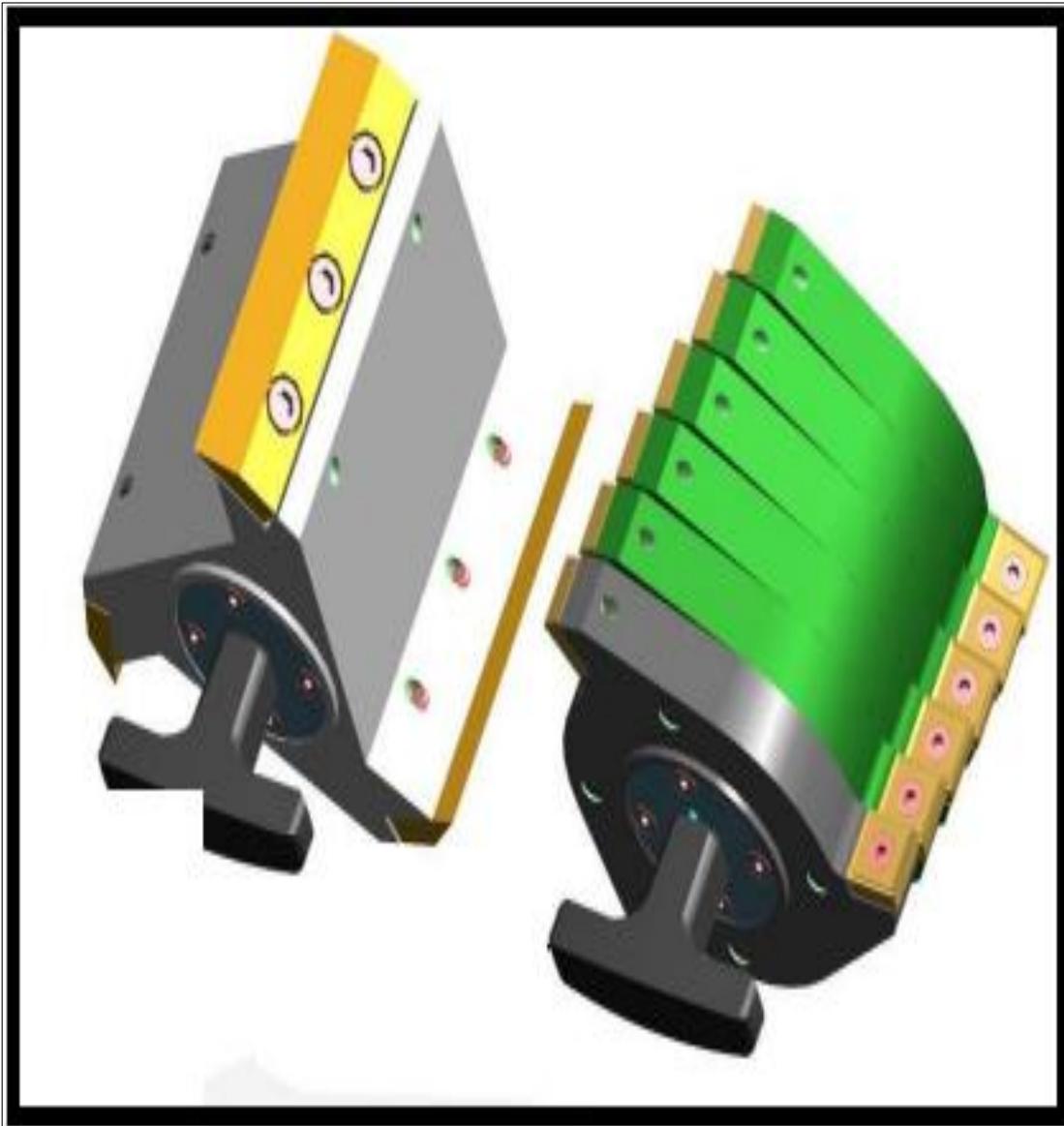


Figura 2.10 Rotor de corte paralelo y rotor de 6 discos (Restch, 2015)

Los molinos de corte han sido concebidos para la trituración de productos blandos, semiduros, elásticos, tenaces y fibrosos así como de mezclas de materiales heterogéneos. Con un motor de 1,5 kW y una velocidad del rotor de 1.500 rpm, este molino es idóneo para aplicaciones rutinarias. Gracias a la amplia selección de tamices de fondo, tolvas y colectores, se puede adaptar a los requerimientos de una gran variedad de aplicaciones. En la Figura 2.11 se puede observar en color verde las cuchillas fijas y en color amarillo las móviles, esta configuración genera 18 cortes por revolución, lo que da como resultado una gran capacidad de molienda.

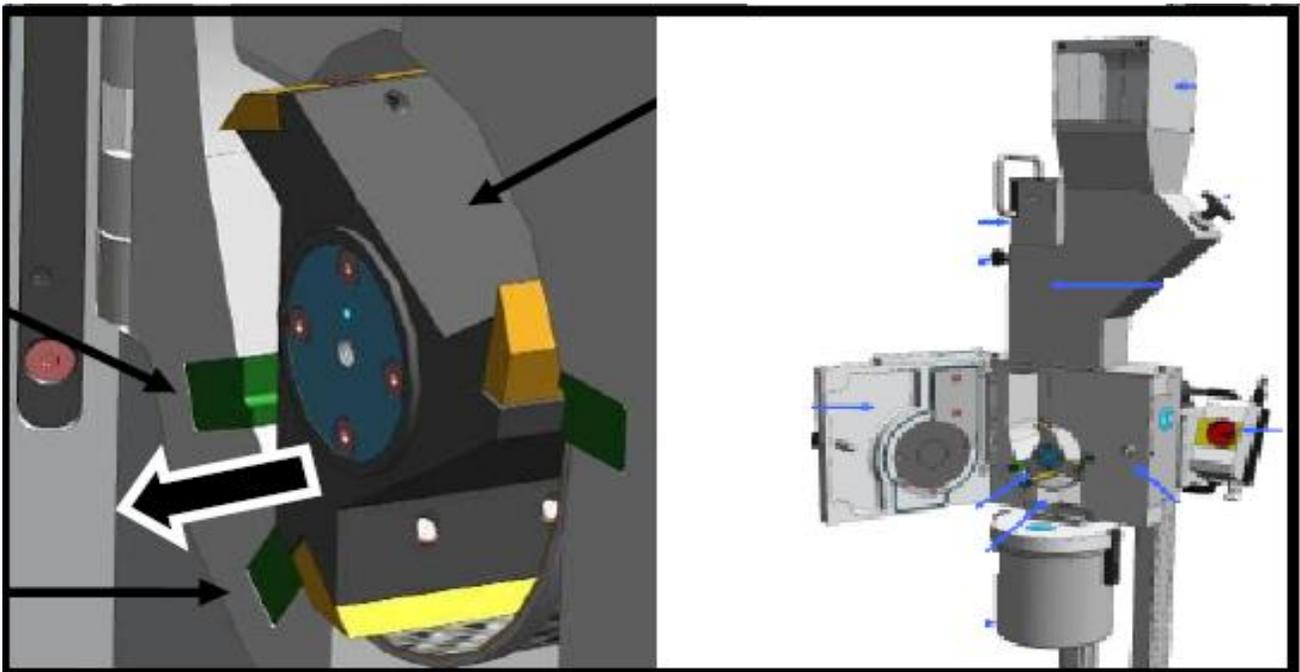


Figura 2.11 Molino de corte (Restch, 2015)

Algunos de los materiales reducidos por un molino de corte son alimentos, basura electrónica, cartón, cuero, drogas, especias, forrajes, goma, huesos, lignito, madera, paja, papel, plásticos, plantas, resinas y textiles. De una manera sintetizada, en la siguiente tabla se cita el tipo de equipo mecánico, el método que utiliza para la reducción de tamaño de partícula y las características del material a triturar recomendables para el buen funcionamiento del equipo. A continuación se muestra la Tabla 2.2 que relaciona el equipo, el método de trituración y el tipo de material a triturar.

Tabla 2.2 Equipo mecánico y método de reducción de partículas (elaboración a partir de Ramos, 2013)

EQUIPO	MÉTODO	MATERIAL	EJEMPLO
Trituradoras de mandíbula	Compactación, trituración gruesa y preliminar.	Semiduros, duros y frágiles	Cerámica, cuarzo, materiales de construcción
Molinos de rotor	Impacto, trituración con extrema rapidez	Fibrosos y blandos	Cereales y minerales
Molinos de corte	Corte	Blandos, semiduros, elásticos y fibrosos	Basura orgánica e inorgánica, cuero, forrajes.
Molinos de discos	Corte y fricción	Duros y abrasivos	Carbón, cemento húmedo, suelo
Molinos de mortero	Fricción y trituración fina	Húmeda y seca	Materias primas y productos finales farmacéuticos
Molinos de bolas	Fricción y trituración fina	No abrasivos	Elaboración de cemento seco

Capítulo 3 Metodología

3.1 Procesos de diseño en Ingeniería Mecánica

El diseño en ingeniería mecánica se dedica en gran medida al cálculo de transmisiones y elementos mecánicos. Aún cuando esta parte es de vital importancia, no deja de ser un paso dentro del proceso total de diseño. La integración del proceso mediante un método general permite tener una visión más exacta del diseño.

La resolución de problemas de diseño en ingeniería es todo un proceso, el cual comienza con el análisis de necesidades, en donde se obtienen especificaciones preliminares y en donde el mayor trabajo consiste en formular preguntas. A medida que el proceso de diseño avanza siguiendo los pasos de definición, análisis, síntesis y evolución, las especificaciones del problema se dan cada vez más detalladas hasta obtener las especificaciones finales (Figura 3.1). En este momento se tiene toda la información para iniciar la construcción de prototipos y programación de pruebas (García, 2002).

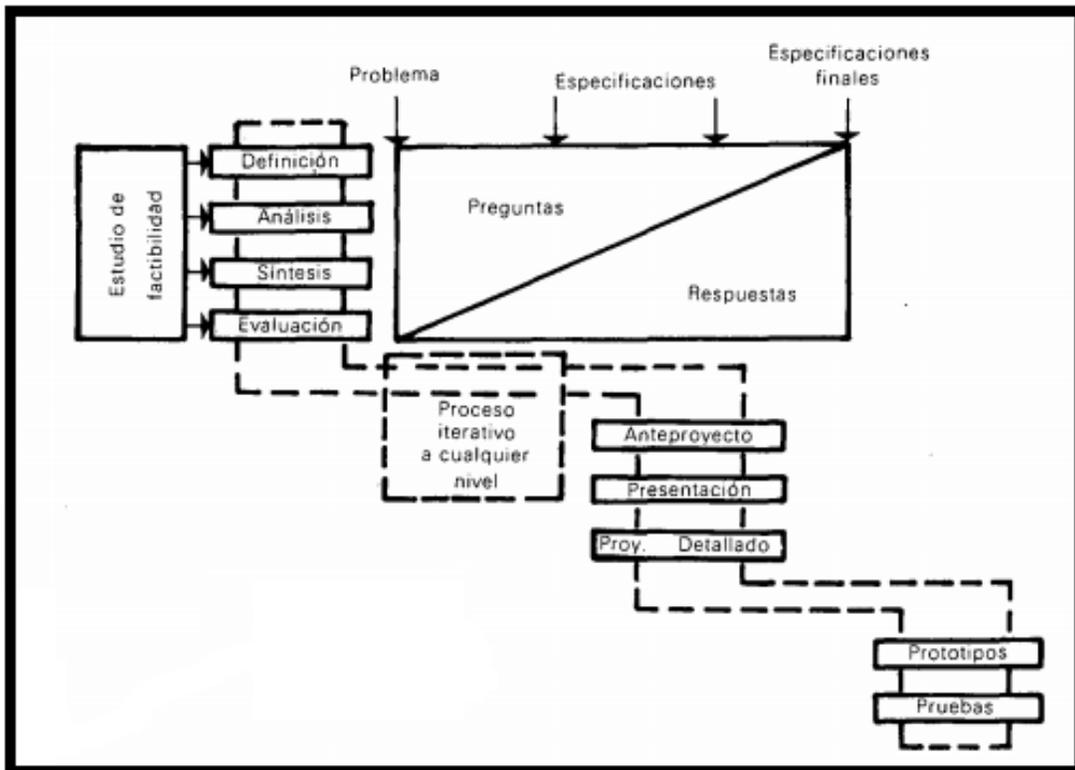


Figura 3.1 Fases del proceso de diseño en ingeniería mecánica (García, 2002)

Por otra parte Shigley define que diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

El proceso completo, de principio a fin, que a menudo se bosqueja como se muestra en la Figura 3.2, comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases de éste pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación.

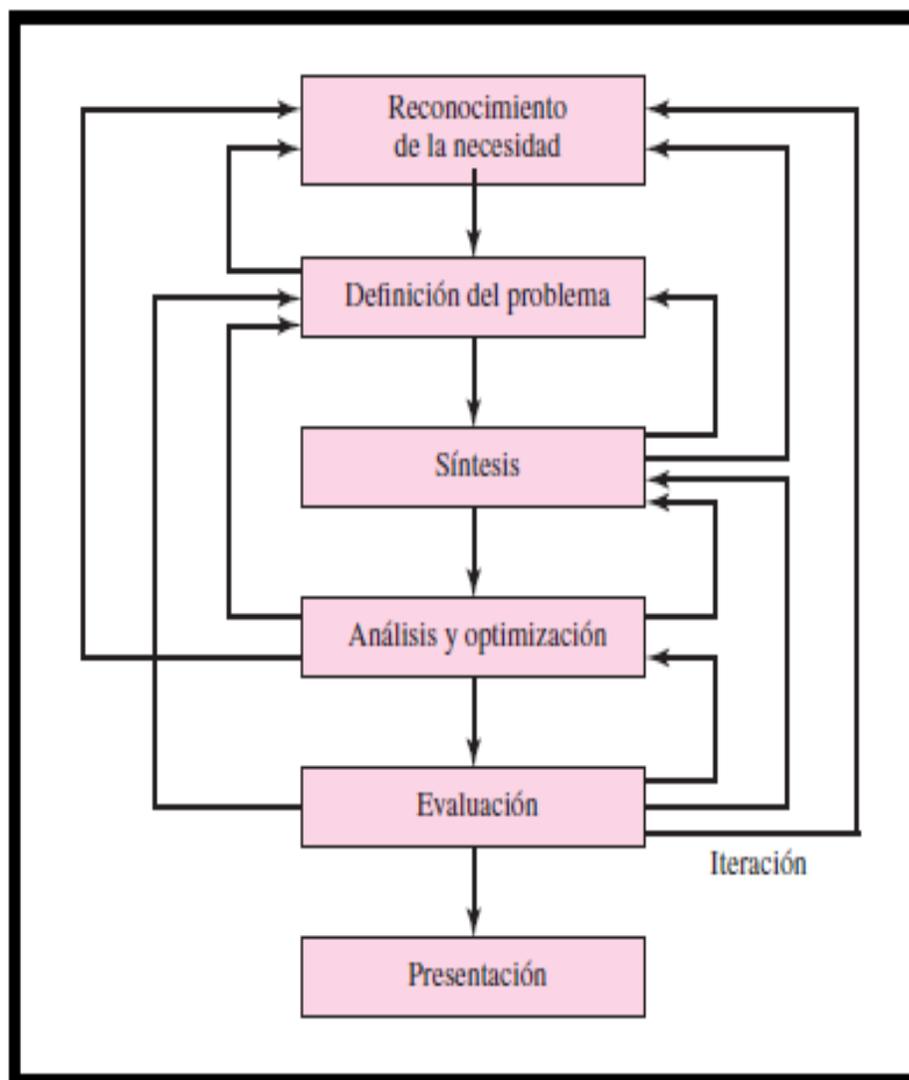


Figura 3.2 Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones (Shigley, 2007)

a) Reconocimiento de la necesidad

El proceso de diseño comienza con la identificación de una necesidad. A veces el reconocimiento de dicha necesidad consiste en un acto muy creativo, porque tal vez la necesidad sea una inconformidad, un sentimiento de inquietud de que algo no está bien. Frecuentemente la necesidad no es tan evidente y el reconocimiento se da por una circunstancia adversa particular. En el caso de la planta de biogás la circunstancia adversa es el tiempo y la cantidad de personas que se emplean en cortar la materia orgánica para después procesarla en el triturador de comida. La necesidad es minimizar el tiempo y las personas empleadas al máximo con la finalidad de optimizar el proceso de producción de biogás a través de dicha materia orgánica.

b) Definición del problema

La definición del problema es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades. Puede considerarse al objeto que va a diseñarse como algo dentro de una caja negra. En este caso deben especificarse las entradas y salidas de la caja, junto con sus características y limitaciones. Las especificaciones definen el costo, la cantidad que se va a manufacturar, la vida esperada, el intervalo, la temperatura de operación y la confiabilidad. Los puntos obvios en las especificaciones son las velocidades, avances, limitaciones de la temperatura y el intervalo máximo.

Diseñar un concepto de trituradora. Basado en el claro entendimiento de las funciones requeridas, se propondrá un concepto de máquina trituradora que cumpla con los requerimientos especificados por el cliente. En la tarea de la síntesis se realizan varios esquemas que deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas. A medida que el desarrollo del esquema progresa, se deben realizar análisis para evaluar si el desempeño del sistema es cuando menos satisfactorio, y si lo es, qué tan bien se desempeñará. Los esquemas del sistema que no sobreviven al análisis se revisan, se mejoran o se desechan. Los que cuentan con potencial se optimizan para determinar el mejor desempeño del esquema. Los esquemas en competencia se comparan de manera que se pueda elegir el camino que conduzca al producto más competitivo. En la Figura 3.2 se muestra que la síntesis, el análisis y la optimización están relacionados en forma íntima e iterativa.

c) Análisis y optimización

Tanto el análisis como la optimización requieren que se construyan o inventen modelos abstractos del sistema que admitirá alguna forma de análisis matemático. A estos modelos se les llama modelos matemáticos. Cuando se les crea se espera que sea posible encontrar uno que simule muy bien al sistema físico real. Como se

indica en la Figura 3.2, la evaluación es una fase significativa del proceso de diseño total. La evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso y por lo general implica la prueba del prototipo en el laboratorio. Aquí se desea descubrir si el diseño en verdad satisface la necesidad o las necesidades. ¿Es confiable? ¿Competirá exitosamente con productos similares? ¿Es económica su manufactura y uso? ¿Se mantiene y se ajusta con facilidad? ¿Se puede obtener una ganancia por su venta o uso? ¿Qué tan probable es que el producto propicie demandas legales? ¿Se obtiene un seguro con sencillez y a bajo costo? ¿Quizá sea necesario que se reconozca que se requiere reemplazar partes o sistemas defectuosos?

d) Evaluación y presentación

La comunicación de los resultados a otros es el paso final y vital de presentación del proceso de diseño. La presentación es un trabajo de venta. El ingeniero, cuando presenta una nueva solución al personal administrativo, gerencial o de supervisión, está tratando de vender o de probarles que la solución que él propone es la mejor. A menos que lo anterior se pueda hacer de manera exitosa, el tiempo y el esfuerzo empleado en obtener la solución en gran parte se habrán desperdiciado. Cuando los diseñadores venden una idea nueva, también se venden a sí mismos. Si suelen tener éxito en la venta de ideas, diseños y soluciones nuevas a la gerencia, comienzan a recibir aumentos salariales y promociones; de hecho, así es como cualquiera tiene éxito en su profesión. (Shigley, 2007)

En este trabajo se aplicó la metodología QFD, la cual ha sido utilizada en experiencias exitosas previas. Esta metodología de diseño aplicada a este trabajo es dividida en tres etapas principales, las cuales son:

- 1) Especificaciones
- 2) Diseño conceptual
- 3) Diseño de detalle

La metodología de diseño varía de producto en producto y de industria en industria. Dicha metodología puede ser definida como: el conjunto de métodos por los cuales se regirá el desarrollo de un proyecto en específico.

3.2 Metodología QFD

Para entender el problema se utilizó la metodología de despliegue de funciones de calidad QFD por sus siglas en inglés (Quality Function Deployment); esta técnica fue desarrollada en Japón a mediados de 1970, se sistematizó en los astilleros Kobe de Mitsubishi y se introdujo en EE.UU a finales de 1980. Desde entonces en la industria norteamericana se ha considerado como la metodología más poderosa para poner los requerimientos de la calidad del producto (Martínez, 2009). En la Figura 3.3 se muestra un diagrama de bloques de la metodología QFD.

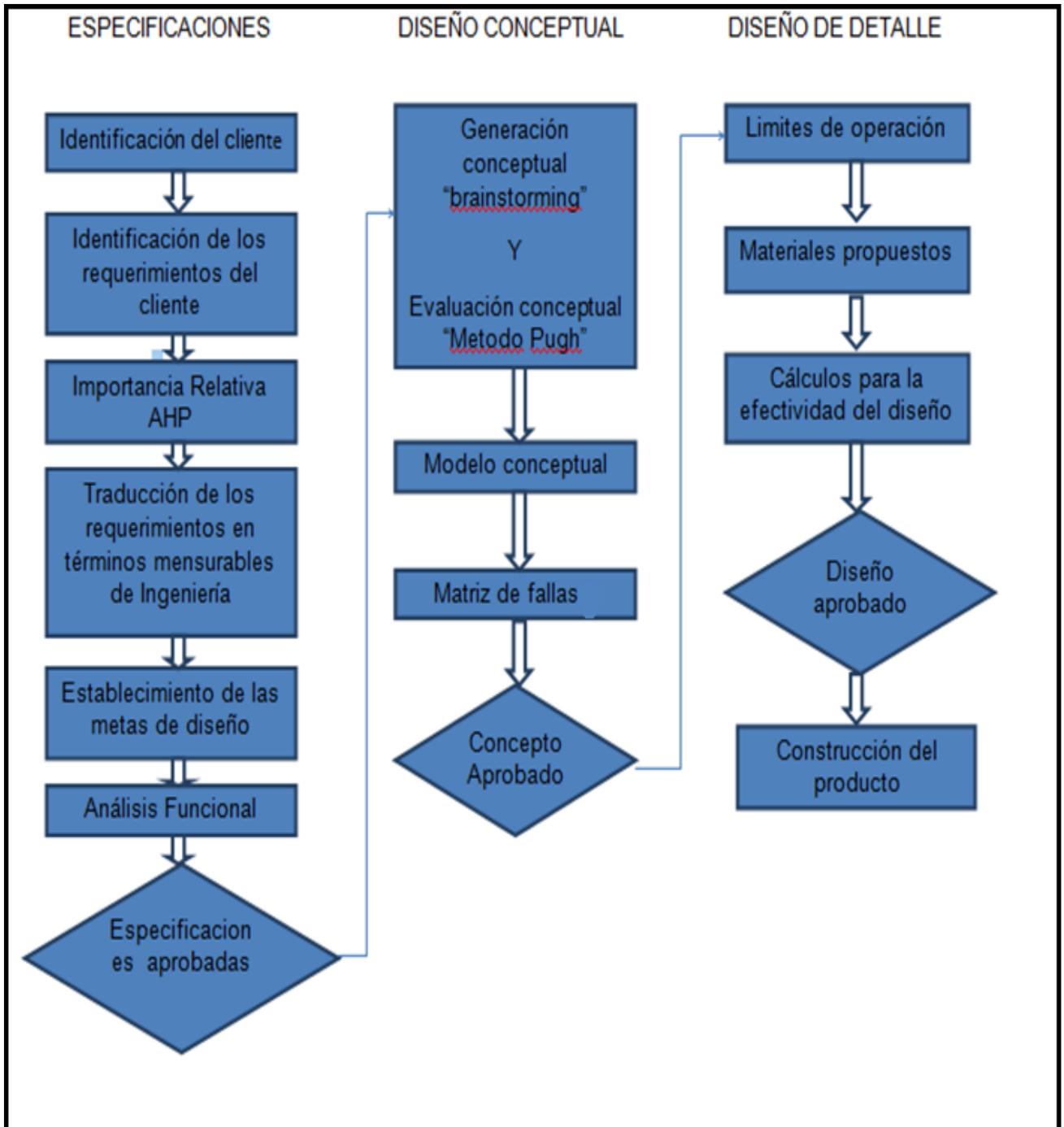


Figura 3.3 Diseño de bloques para la metodología de diseño QFD (modificado de Delgado, 2010)

El objetivo de esta metodología es integrar los requerimientos y las expectativas de los clientes al proceso de diseño, estas son utilizadas para que la realización del producto sea competitiva en el mercado y para generar requerimientos o especificaciones de ingeniería. Por otra parte las funciones de calidad contribuyen

en gran parte a la formación de la calidad del producto como la planificación, la producción, el control etc.

Se puede definir a grandes rasgos al (QFD) como: un método para desarrollar una calidad de diseño dirigida a la satisfacción del consumidor y luego traducir la demanda al consumidor en metas de diseño y elementos de control de la calidad para ser empleados en todos los pasos de la fase de producción. En la Figura 3.3 se muestra un diagrama de bloques de la metodología QFD.

3.3 Especificaciones

3.3.1 Identificación del cliente

Tomando en cuenta la definición de que un cliente es todo aquel que sea impactado por el producto o por los procesos (Juran, 1996) y que para la identificación del cliente es necesario asimilar a todas las personas que estén relacionadas con los desechos orgánicos (desechos de cascaras como frutas y verduras), hay que señalar a los clientes potenciales que de alguna manera estarán interactuando con este diseño, en este caso serán las personas que estarán recibiendo los desechos orgánicos en la planta de biogás. El rango de clientes para este diseño es bajo ya que este está destinado a un lugar específico (planta de biogás) pero el problema de los desechos orgánicos es un problema mucho más amplio.

3.3.2 Identificación de los requerimientos del cliente

A continuación se determina cuáles son los requerimientos y las expectativas del cliente. Obteniéndose información mediante entrevistas o comparación de productos en el mercado. Dentro de estos requerimientos se incluyen los llamados requerimientos obligatorios y los requerimientos deseables, siendo los primeros aquellas demandas que son inherentes al producto y que de no cumplirse el producto no puede considerarse satisfactorio y los segundos son requerimientos que permiten cierta flexibilidad, de manera que su cumplimiento puede ser parcial o que de alguna forma no se cumpla en su totalidad aunque el producto seguirá considerándose satisfactorio. En Figura 3.4 se observa una clasificación de requerimientos, los cuales se dividen en 7 tipos: económicos, funcionales, espaciales, de apariencia, manufactura, conservación y seguridad, además se menciona algunos ejemplos de cada requerimiento.

3.3.3 Importancia relativa de los requerimientos

Los clientes necesitan que sus requerimientos sean debidamente satisfechos, pero algunos requerimientos son más urgentes que otros. Esta importancia

relativa de los requerimientos ayuda a tomar decisiones que equilibran el coste de satisfacer un requerimiento y el beneficio que recibe del cliente. Por ejemplo, si resulta igualmente costoso satisfacer dos necesidades, la necesidad que el cliente considera como la más importante deberá tener mayor importancia.

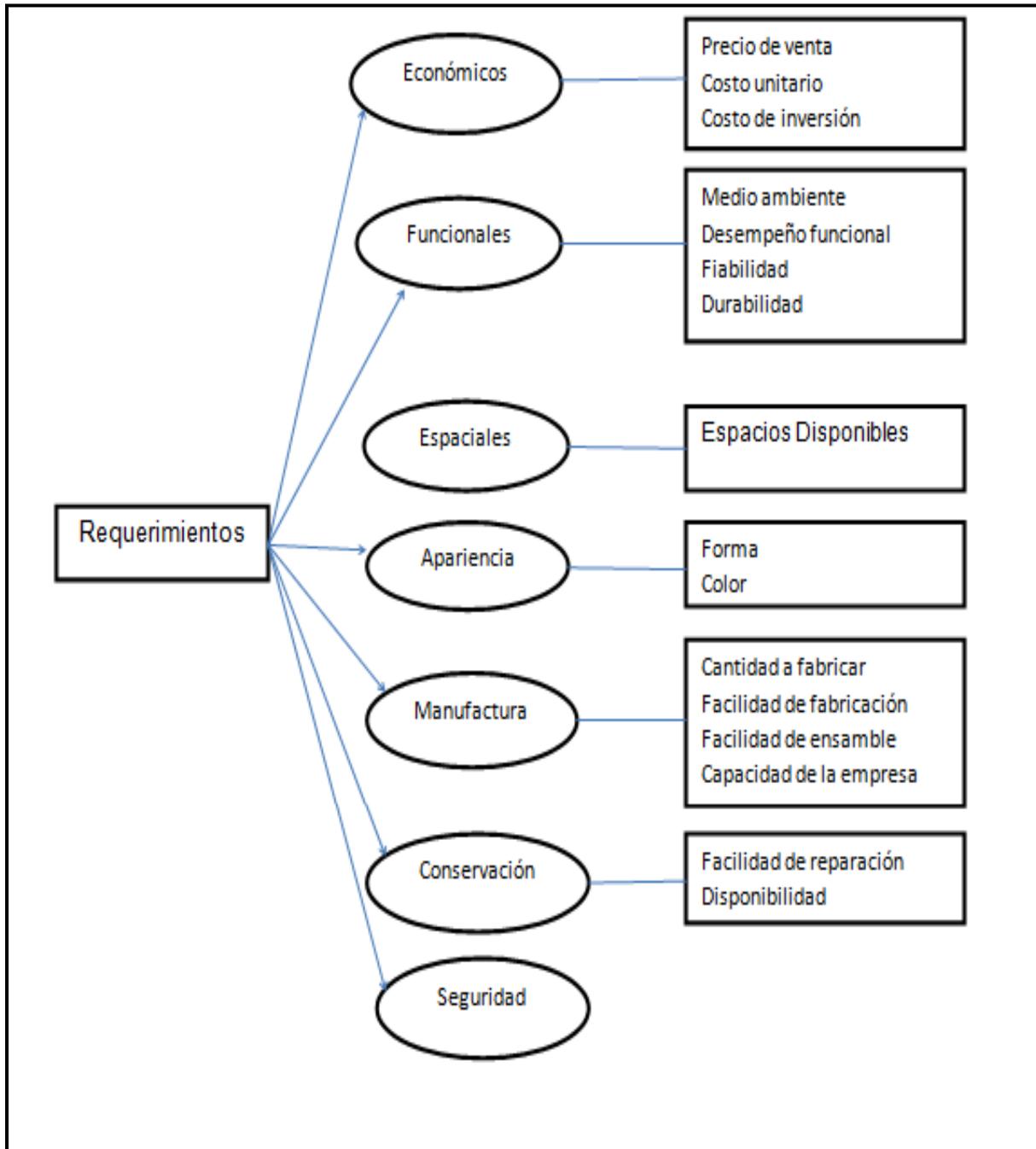


Figura 3.4 Clasificación de requerimientos (Guadalupe, 2009)

Los requerimientos deseables son los que se ponderan uno a uno contra sí mismos utilizando el proceso de Análisis Jerárquico o AHP por sus siglas en inglés (Analytic Hierarchy Process), desarrollado por Saaty en 1995. Mientras que los requerimientos obligatorios no pueden ser ponderados para otorgarles cierto grado de importancia ya que tienen el mismo y absoluto grado de importancia en el proyecto, debido a que “sin ellos el producto podría considerarse como insatisfactorio en cualquier grado” (Guadalupe, 2009).

Por ejemplo, para decidir el lugar a donde ir de vacaciones se colocan las opciones dentro de una matriz y se comparan entre sí, utilizando algún criterio, en este caso serán los costos, asignando un valor numérico de acuerdo a su importancia (utilizando la escala de referencia que se muestra en la Tabla 3.1), el valor es entero cuando la comparación favorece a la opción colocada en la parte izquierda de la matriz, de lo contrario, el valor será fraccionario debido a que se prefiere la opción colocada en la superior de la matriz, la matriz de este ejemplo se presenta en la Tabla 3.2.

Tabla 3.1 Escala fundamental de comparación (Delgado, 2010)

Escala fundamental de comparación	
Intensidad de importancia	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia fuerte
7	Mucha importancia
9	Extremada importancia

Tabla 3.2 Ejemplo de matriz comparativa (Guadalupe, 2009)

	IXTAPA	MAZATLÁN	CANCÚN	ACAPULCO	GUANAJUATO
IXTAPA	1	3	9	1/3	1/5
MAZATLÁN	1/3	1	9	1/3	1/3
CANCÚN	1/9	1/9	1	1/9	1/9
ACAPULCO	3	3	9	1	1/3
GUANAJUATO	5	3	9	3	1
TOTAL	9.444	10.111	37	4.778	1.987

Posteriormente la matriz es normalizada dividiendo cada uno de los valores asignados entre el resultado total de cada columna y se coloca en cada celda, ese valor será calculado a manera de porcentaje considerando la unidad como el 100%, y a partir de ese valor porcentual, determinar la opción ganadora, como se presenta en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Ejemplo de matriz comparativa normalizada (Delgado, 2010)

	Ixtapa	Mazatlán	Cancún	Acapulco	Guanajuato	%
Ixtapa	0.106	0.297	0.243	0.070	0.101	0.163
Mazatlán	0.035	0.099	0.243	0.070	0.169	0.123
Cancún	0.012	0.011	0.027	0.023	0.056	0.026
Acapulco	0.318	0.297	0.243	0.209	0.169	0.247
Guanajuato	0.529	0.297	0.246	0.628	0.506	0.441
Suma	1.000	10.111	37.000	4.778	1.987	

Finalmente se jerarquizan según los porcentajes promedios de importancia, obtenidos de cada uno de los requerimientos; de mayor a menor importancia relativa.

- 1.-Guanajuato
- 2.-Acapulco
- 3.-Ixtapa
- 4.-Mazatlán
- 5.-Cancún.

3.3.4 Traducción de los requerimientos en términos mensurables de ingeniería

Para cumplir con los requerimientos del cliente, el producto (o servicio) debe satisfacer requerimientos que se puedan medir. Existen algunos requerimientos que pasan directamente a ser medidos como metas de diseño o que son más fáciles de medir o interpretar para lograr generar estas metas, estos se catalogan como requerimientos mensurables, pero también existen aquellos que requieren de un análisis más profundo y al comienzo son catalogados como no mensurables un ejemplo de un requerimiento de este tipo, es: “Que el usuario este cómodo” para una silla de ruedas, dicho requerimiento puede medirse en ángulo de abatimiento para el respaldo o la duración de la batería, visto de manera general. Los términos de ingeniería se miden a través de unidades de medición físicas que se convierten en los objetos de diseño. Los términos de ingeniería son aquellas magnitudes o características que se pueden manejar o determinar para definir su producto, estos requerimientos pueden ser divididos en niveles de traducción, como el ejemplo de la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Traducción de requerimiento (elaboración a partir de Guadalupe, 2009)

Requerimiento	Primer nivel de traducción	Segundo nivel de traducción
Comodidad del usuario	Ángulo de respaldo	Grados
	Duración de batería	Horas autónomas

3.3.5 Establecimiento de las metas de diseño

Cuando algunos requerimientos del cliente son suficientemente precisos, se convierten directamente en metas de diseño, estas son: características mensurables que llevan asociadas magnitudes y unidades de medición. En otros casos, los requerimientos del cliente deben someterse a un proceso de traducción para obtener los términos mensurables que dan lugar a la fijación de metas, ver (Tabla 3.5).

Tabla 3.5 Niveles de traducción para el requerimiento (Delgado, 2010)

Requerimiento	Meta de diseño
Comodidad de usuario	7 grados
	600 horas

3.3.6 Análisis funcional

El análisis funcional es un método propuesto por Lawrence D. Miles como parte de un método de reducción de costos. El objetivo es separar la acción que se efectúa del producto o componente del producto que la lleva a cabo. Esto permite buscar nuevas soluciones a un mismo concepto. Se puede definir una función de servicio como “la acción o efecto que realiza el producto para cubrir una determinada expectativa del consumidor”. El análisis funcional busca identificar las funciones de servicio, descomponerlas en efectos subordinados y definir así lo esencial de esas entidades en cuanto a productoras de efectos. El enfoque visual del análisis funcional consiste en considerar el producto como una caja negra [(es decir, un elemento del que se desconoce lo que contiene), que se encarga de transformar un estado inicial en un estado final, como se representa en la Figura 3.6.



Figura 3.5 Enfoque visual del análisis funcional (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Las funciones pueden ser primarias (su cumplimiento es básico para el buen funcionamiento del dispositivo), secundarias (esta función solo existe para permitir que se realice una función primaria, o bien para complementar y mejorarla) y terciarias (sirven para definir puntos específicos que comprendan a las funciones secundarias).

El conjunto de funciones desarrolla un efecto global que se designa como “la función global o mecánica” (Figura 3.4), en donde se abarca el flujo de materia, energía e información que pasan a través de la función global, considerando las distintas restricciones durante la función, dando como resultado un nuevo flujo de materia, energía e información para la solución del producto.

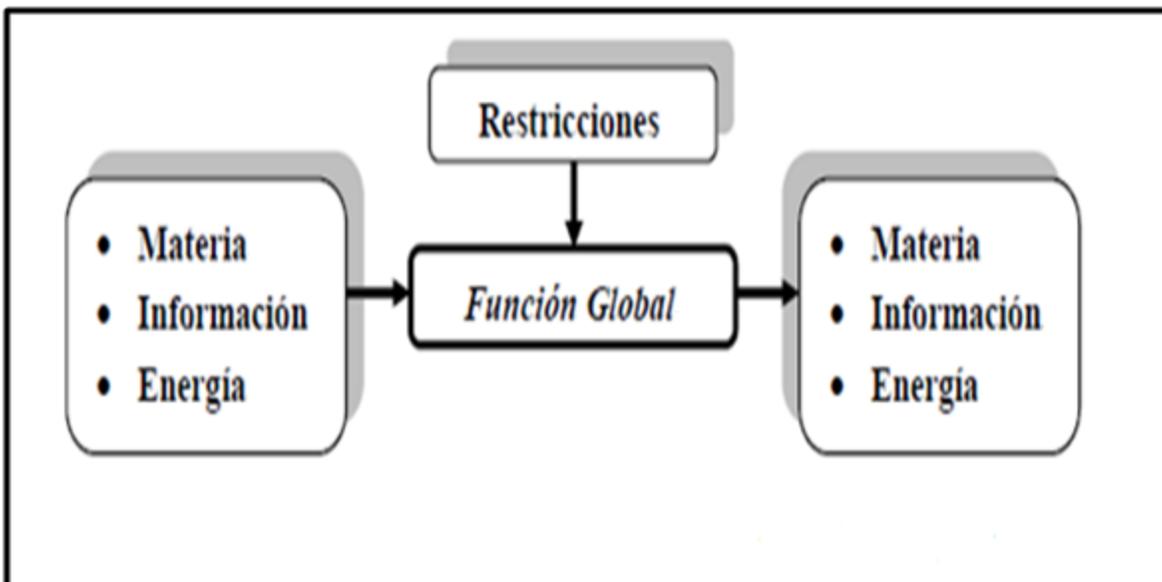


Figura 3.6 Flujo representativo de la función mecánica (elaboración a partir de Delgado, 2010)

3.4 Diseño conceptual

La etapa del diseño conceptual abarca aspectos como exploración de las diferentes posibilidades existentes para llegar a un resultado o la redefinición del problema de partida. La creatividad es la característica fundamental, se aprovecha la información generada en la primera etapa del diseño (especificaciones) para definir en primer lugar “el modelo funcional del producto” para después pasar a conceptualizar las posibles soluciones al problema. De aquí de la identificación de todas las funciones que es necesario que desarrolle el producto, con las cuales se puede lograr satisfacer las expectativas del cliente para después generar una serie de alternativas de solución; después se evalúan estas alternativas de manera sistemática para llegar a una propuesta de solución. El objetivo de la etapa de diseño conceptual es lograr la mejor propuesta de solución posible, para que en la siguiente etapa los esfuerzos de diseño se concentren en ella.

Una vez establecidas las funciones se debe centrar la atención en definir exclusivamente las funciones necesarias para lograr cumplir con los requerimientos del cliente. Existen muchos métodos de creatividad para generar la cantidad de conceptos necesarios para resolver las funciones, entre los más sencillos se puede destacar la tormenta de ideas “Brainstorming” (Figura 3.7). Este método se basa en crear, a través de dibujos, conceptos que a idea de cada diseñador permitan cumplir de la manera más adecuada con cada función. Además, permite crear conceptos a partir de algunos ya existentes o bien, combinar conceptos para buscar obtener siempre la mejor solución.

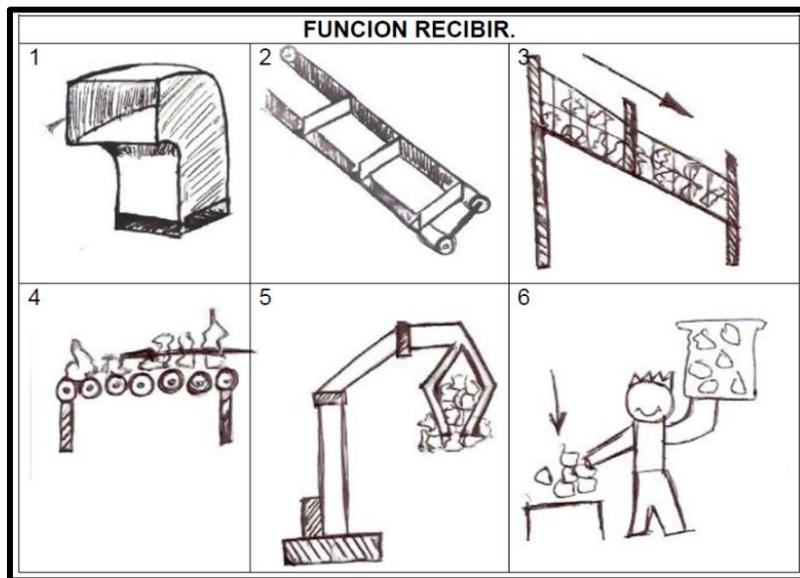


Figura 3.7 Representación gráfica de una tormenta de ideas “Brainstorming”
(Modificado de Delgado, 2010)

Cuando se hayan generado la mayor cantidad de conceptos posibles, los conceptos que resulten de una función, se evalúan uno a uno tomando como referencia el cumplimiento que estos tienen con los requerimientos. Para la evaluación de los conceptos según su cumplimiento con los requerimientos, se empleará “el método Pugh”. Este consiste en comparar cada concepto con relación a otro en su capacidad para cumplir con los requerimientos del cliente; en este caso los globales. La comparación de los resultados proporciona las bases para identificar las mejores opciones y permitir contar con una referencia para tomar decisiones.

Primero, se debe tomar uno de los conceptos como referencia, posteriormente, los demás conceptos serán comparados uno a uno contra el concepto de referencia y se dará un valor unitario (+) cuando el concepto que se compara cumple mejor con el requerimiento que el concepto de referencia, por otro lado un valor unitario de (-) si no lo cumple y un (0) si ambos conceptos cumplen de manera adecuada con el requerimiento. Esto se puede hacer como se muestra en la Tabla 3.6.

Tomando el ejemplo de la Tabla 3.6, los valores de los porcentajes promedio de importancia, de cada requerimiento, estos valores son los obtenidos por el método AHP para los requerimientos deseables y siempre serán unitarios en el caso de los requerimientos obligatorios.

Tabla 3.6 Ejemplo de evaluación conceptual (elaboración a partir de Guadalupe, 2009)

Función “a”						
Requerimientos	%p	Conceptos				Conceptos de referencia
		1	2	3	4	
1	0.8	+	-	+		
2	0.03	-	0	0		
3	1	-	-	0		
Total		-0.23	-1.8	0.8		

Los requerimientos son multiplicados por los valores dados de cada evaluación de concepto y sumados verticalmente para la obtención del valor total del concepto más viable, para esto se considera que entre más alto y positivo sea el valor total del concepto, será el concepto de preferencia para la función que este siendo evaluada y será el empleado para el modelo conceptual. En cambio, si todos los conceptos evaluados resultan con un valor negativo, el concepto de referencia será el más adecuado a elegir.

Finalmente este concepto con el valor total más alto será marcado o sombreado, como lo fue en este ejemplo para el concepto 3 y será el empleado para formar parte del modelo conceptual.

A partir de los conceptos evaluados se eligen los que resultaron con mayor puntaje, para conjuntarlos y establecer un concepto global, llamado también “*modelo conceptual*”, de tal manera que se logren reunir los atributos que más convienen para formar el diseño.

Una vez que se tenga el modelo conceptual claro y totalmente definido, así como identificados los componentes que lo conforman, previo al diseño de detalle. Una manera de determinar los componentes críticos respecto a los posibles modos de fallo consiste en plantear una matriz (*Matriz de fallas y efectos*) en la que se comparan los distintos componentes del producto, en este caso conceptualizados frente a posibles modos de fallo. Los pasos a seguir son:

1.-Adoptar una puntuación dependiendo de la relación entre cada componente y cada posible modo de fallo, que suele ser puntuado como se muestra en la tabla 3.7. Aquí se entiende por relación componente/ falla, en el caso de la silla de ruedas, por ejemplo, si el posible modo de falla es pérdida de estabilidad, las ruedas serán piezas del producto muy implicadas en ese modo de fallo, mientras que el reposabrazos lo será bastante menos.

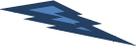
2. Aplicar una importancia a cada componente, según su valor en la función del dispositivo, (se puede usar una escala del 1 al 10, por ejemplo). Puede haber piezas de igual importancia.

3. Multiplicar la importancia de cada componente por su factor de relación con cada falla.

4. Sumar horizontalmente para obtener un factor total frente a fallos.

5. Representar el porcentaje de falla para cada componente (%F). “Los componentes con mayores porcentajes son las que deben estudiarse”.

Tabla 3.7 Modo de puntuación para la matriz de fallos y efectos (elaboración a partir de Delgado, 2010)

	9	Relación fuerte
	3	Posible relación
	1	Baja relación

Finalmente, la evaluación de esta matriz tiene repercusiones en los materiales, procesos o incluso en características particulares en algunos componentes. Una vez evaluado el modelo conceptual los componentes que habría que diseñar con especial cuidado, de cara al riesgo de fallo, serían aquellos que resultaron con un porcentaje alto.

3.5 Diseño de detalle

Los límites de operación son los que se pueden representar por una serie de preguntas, tales como:

“¿Qué va a realizar mi producto?”

“¿Cuáles deberán ser mis variables de prueba?”

“¿En base a que determino las dimensiones de los componentes?”

Todas estas preguntas y más deben ser respondidas mediante la identificación de cada límite de operación. En pocas palabras es una manera de identificar las características con base en las cuales el producto será dimensionado. En las propuestas de materiales con base en las cuales un producto será diseñado, las características mecánicas son clave. Estos materiales y sus características deben asegurar que el producto funcione adecuadamente y soporte las cargas presentes en él, durante toda su vida útil. Para la efectividad del diseño los cálculos son una base fundamental para el desarrollo de cualquier producto, indican el sustento científico de que el producto soportará las condiciones de operaciones.

3.6 Estudio de caso

Este estudio es el resultado de trabajar en la operación de un prototipo de degradación anaerobia de residuos sólidos orgánicos en el restaurante *Cibarium*, que se ubica muy cerca del Circuito Escolar (entre la Alberca Olímpica y la Torre de Ingeniería) de Ciudad Universitaria, campus central de la UNAM. A continuación se describe el proceso de operación de dicho prototipo de degradación anaerobia y los elementos que conforman el mismo con el fin de conocer las necesidades del cliente.

En primer lugar se reciben los residuos que se obtienen de la preparación de alimentos, así como los sobrantes que dejan los comensales, además se recolectó residuos de un establecimiento de jugos y licuados, ubicado aproximadamente a

100 metros del restaurante, al cual se acudió, recolectando en total aproximadamente 50 kg de residuos diarios. En la Figura 3.8 se puede apreciar la diversidad de residuos recolectados y aunque son clasificados desde su generación, esta separación no es del todo eficaz, así que es necesario hacer una minuciosa separación tanto de materia inorgánica indeseable como de materia orgánica no apta para el proceso.



Figura 3.8 Residuos recolectados (Grimaldo, 2013)

Para la preparación del sustrato se cuenta con un triturador doméstico de residuos orgánicos como se aprecia en la Figura 3.9 marca Insinkerator (modelo 200-4) de 1HP, cuya capacidad de cámara de molienda es de 1.1 Kg (40 oz) y funciona con un motor monofásico de 1200 Watts. Los elementos de la cámara de molienda son de acero inoxidable y su peso es de 11 kg, aproximadamente.



Figura 3.9 Triturador de residuos (Grimaldo, 2013)

Antes de introducir los residuos al triturador se deben someter a un pre tratamiento que permita una adecuada molienda. Algunos residuos secos como el pan y las tortillas, se colocan por separado y se hidratan previamente para evitar que se atasquen o que no sea posible su trituración, el resto de los residuos aptos deben picarse o trozarse de acuerdo al tipo de residuo a un tamaño menor a 10 cm que es el diámetro de entrada de la tolva del triturador, de lo contrario, los mismo residuos crean un tapón en la entrada que obstruye el paso de otros residuos. Finalmente los residuos estarán listos para ser triturados como se muestra en la Figura 3.10



Figura 3.10 Picado de residuos de trituración (Grimaldo, 2013)

Una vez preparados los residuos se fueron colocando en cubetas para ser pesados y triturados, utilizando agua del efluente en la proporción 1:1 (1 litro de agua por 1 kilogramo de residuo) previamente establecida para asegurar la concentración de sólidos totales. Los residuos deben ser depositados poco a poco en la tolva del triturador, observando siempre que se opere adecuadamente. Después de los primeros días de operación se determinó que diariamente no se deben triturar más de 8 cubetas, que como se recordara la capacidad de la cámara de molienda del equipo es tan solo 1.1 kg.

Una vez triturados, los residuos pasan a un tanque receptor ver Figura 3.11 con capacidad de 100 litros, en donde se mezclan hasta obtener un influente homogéneo, se mide el pH y en caso de ser necesario se neutraliza ($\text{pH}=7$) antes de introducirlo a los reactores mediante bombeo.



Figura 3.11 Tanque receptor de la materia prima triturada (Grimaldo, 2013)

La bomba instalada es de desplazamiento positivo y cavidad progresiva (helicoidal de rotor excéntrico) marca Moyno, modelo 35651, (Figura 3.12) acoplada a un motor trifásico de 1.35 KW. Las cualidades de la bomba son alto poder de succión, elevada presión de descarga, capacidad para bombear productos sólidos, resistencia a la abrasión, las cuales la hacen ideal para el sistema debido a la consistencia del influente.



Figura 3.12 Bomba de alimentación y mezclado monyo Mod. 35651 (Grimaldo, 2013)

La degradación se lleva en dos etapas, la primera en un reactor anaerobio semi continuo de mezcla completa (R-1), y la segunda, en un reactor semi continuo convencional (R-2). El reactor R-1 es un tanque vertical fabricado de acero

inoxidable tipo 304 con un volumen de 1.25 m^3 , cuenta con una mirilla de acrílico y un eje transversal con un par de aletas para el mezclado del contenido, dicho eje esta acoplado a un motor trifásico de 3.43 KW. El reactor R-2 es un tanque Rotoplas de polietileno, con un diámetro de 2.2 metros, 1.77 metros de altura y un volumen total de 5 m^3 . En la Figura 3.13 y 3.14 se pueden apreciar ambos reactores.



Figura 3.13 Primer Reactor R-1 anaerobio de la planta de biogás (Grimaldo, 2013)



Figura 3.14 Segundo Reactor R-2 anaerobio (Grimaldo, 2013)

Cada uno de los reactores cuenta con tubería de polietileno de alta densidad, en la parte superior para permitir la salida del biogás. Antes de ser almacenado, el

biogás pasa por un desulfurador, el cual permite la remoción de H_2S para evitar la formación de óxidos de azufre (SO) al quemar el biogás y reduce el efecto corrosivo. El método utilizado se denomina adsorción o desulfuración seca, que mediante un lecho a base de óxido de hierro (Fe_2O_3), convierte el H_2S en azufre elemental (S). En la Figura 3.15 puede observarse el desulfurador instalado.



Figura 3.15 Desulfurador de biogás (Grimaldo, 2013)

Posteriormente, el biogás pasa por un condensador, el cual retira la humedad a través de un espiral que condensa y elimina el vapor de agua presente en el gas debido a que la degradación anaerobia se lleva a cabo en condiciones acuosas. En la Figura 3.16 se muestra el condensador.



Figura 3.16 Condensador de humedad (Grimaldo, 2013)

Después del tratamiento el biogás está listo para almacenarse, pero para observar y registrar el volumen generado se cuenta con un medidor de gas de

desplazamiento positivo tipo diafragma como se muestra en la Figura 3.17. Este tipo de medidores funcionan mediante uno o varias cámaras de volumen conocido que se llenan y vacían durante cada ciclo del medidor, cada ciclo es contado por una serie de engranes numerados y al multiplicar el volumen atrapado en cada ciclo por el número de ciclos se tiene el volumen total del flujo.



Figura 3.17 Medidor de gas (Grimaldo, 2013)

El biogás generalmente se almacena, en condiciones atmosféricas normales, en depósitos denominados gasómetros. Por economía y accesibilidad, se optó por utilizar bolsas de lona a base de poliéster con recubrimiento de PVC en ambas caras, esto es para mejorar la resistencia a la intemperie y largar la vida útil. Figura 3.18



Figura 3.18 Bolsa de almacenamiento (Grimaldo, 2013)

Después del almacenamiento se tiene una válvula de alivio para controlar la presión de biogás y garantizar así la seguridad de operación. Dado que el biogás obtenido se encuentra a baja presión, puede prescindirse del uso de válvulas de

alivio convencionales y utilizar un manómetro diferencial ver Figura 3.19, en el cual al aumentar la presión del biogás, el líquido en el manómetro ascenderá hacia un recipiente y será venteado por un conducto si se supera el nivel máximo. Al disminuir la presión, el líquido almacenado regresará al manómetro y se restablecerán las condiciones originales. De esta forma, el dispositivo permitirá medir la presión del biogás después de las bolsas de almacenamiento y funcionara como válvula de alivio.



Figura 3.19 Manómetro diferencial (Grimaldo, 2013)

Finalmente, antes del punto de aprovechamiento del biogás se tiene instalada una trampa de llama o arrestado de flama, dispositivo que impide la propagación, a través de las tuberías. La trampa está llena de fibra metálica mediante compactada, de forma similar al desulfurador, la cual, impide el paso de la flama, por ello, en algunos sistemas se prescinde de su instalación.

3.6 Problemática a resolver

Para identificar la problemática a resolver se utilizó un diagrama identificando el tren de tratamiento de la planta de biogás (Figura 3.20). En la Figura 3.20 se puede observar que en la etapa de pre tratamiento es donde ocupa mayor cantidad de tiempo y mayor cantidad de personas necesarias para realizarlas. Esto es debido a que para triturar los desechos sólidos orgánicos antes se tiene que picar los mismos de tal manera que tengan una dimensión menor a 10cm, como se recordara es el diámetro de la tolva de la trituradora. Este paso lleva un tiempo de 3 a 4 horas aproximadamente y se necesitan 2 personas para realizarlo.

Una vez picado los residuos sólidos orgánicos se proceden a triturarlos en la trituradora Insinkerator con una relación de 1 kg de residuos orgánicos por 1 litro de agua, esta tarea toma aproximadamente 30 minutos.

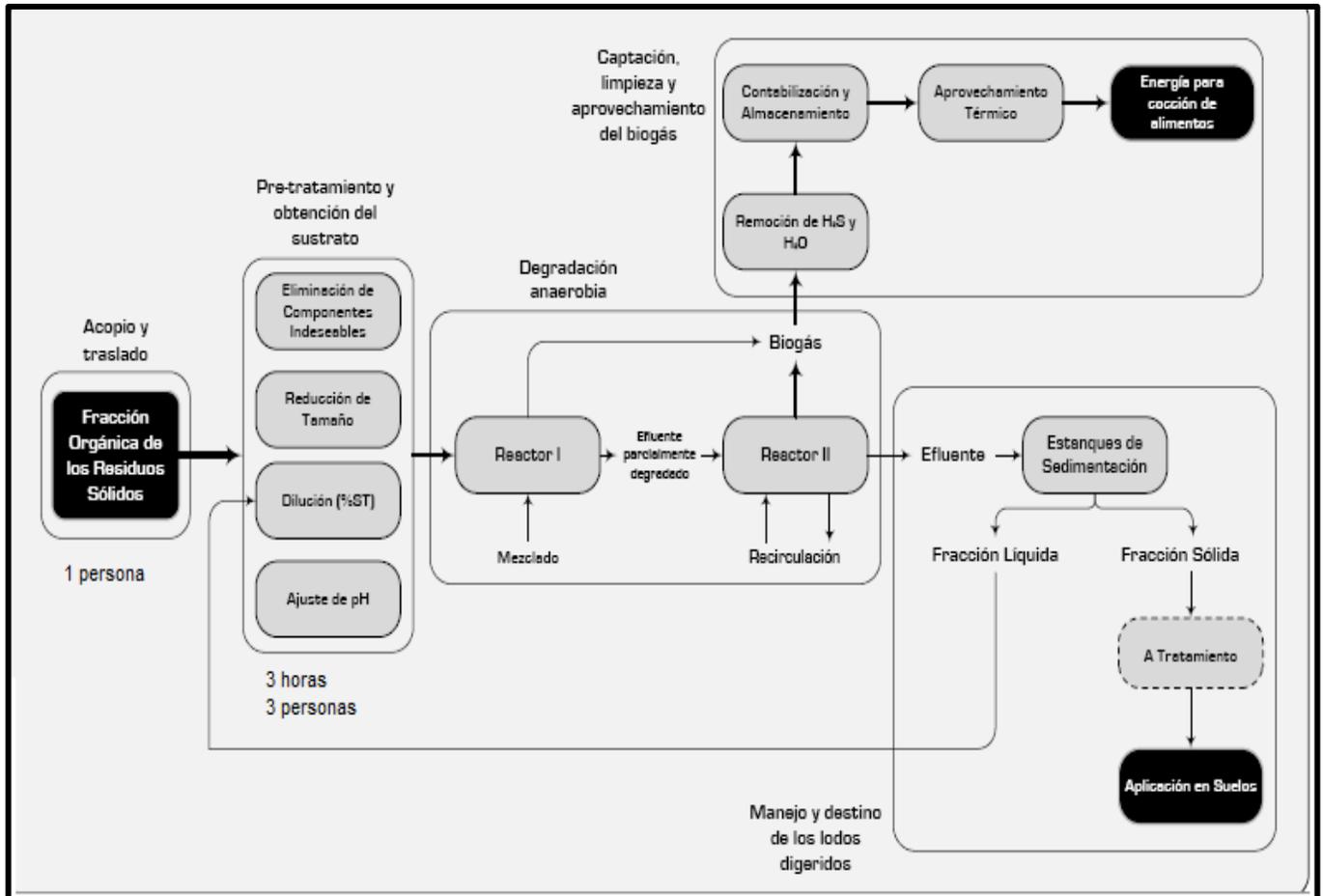


Figura 3.20 Secuencia del tren de tratamiento anaerobio a la planta de biogás (Juárez, 2012)

En el primer semestre del 2014 se tuvo la oportunidad de operar dicha planta, en ese periodo se observó que el proceso de picar la materia orgánica es lento y tedioso además de que se necesitaba de 2 a 3 personas para realizar la tarea, además que el proceso de triturado es más rápido si los desechos orgánicos sólidos se pican a aproximadamente a 2 cm, este proceso también ayuda a que el motor de la trituradora no se caliente. Es por eso que se planteó la necesidad de construir una máquina que eficiente dicha tarea. En la Tabla 3.8 se hace un análisis de los procesos de operación en la planta de biogás con sus respectivos tiempos. Se puede apreciar que en la parte donde se necesitan 3 personas la mayor cantidad de tiempo principalmente se ocupa en reducir el tamaño de los residuos orgánicos manualmente, llenando recipientes de 10 Kg cada uno para poder pasarlos al triturador Insinkerator, cabe mencionar que este parte del proceso de la operación de la planta no es continuo, por lo mencionado anteriormente sobre la construcción de la trituradora, se estima que también con este prototipo sea una operación continua.

Tabla 3.8 Tiempos de operación en la planta

Proceso con un carga de 40kg	Sin prototipo del triturador (min)
Recolección de materia orgánica	5
Selección de materia orgánica	20
Pretatamiento (picado)	150
Triturador inskerator	50
Agregación de enzimas	2
Medición de ph	2
Mezclado	60
Recirculación	60
Total	349min=5.81horas

Capítulo 4 Resultados prediseño

4.1 Identificación del cliente

En este caso el cliente es el responsable de operar la planta de biogás del restaurante Cibarium, ya que es el encargado de recolectar la materia prima a utilizar, así como seleccionarla, picarla y después triturarla.

4.2 Identificación de los requerimientos del cliente

De acuerdo a la experiencia adquirida durante la operación de esta planta y una serie de preguntas que se plantearon para caracterizar el funcionamiento de la planta de biogás, se logró obtener una serie de requerimientos que debe tener la nueva máquina trituradora.

Las preguntas que se realizaron fueron las siguientes:

1 ¿Cantidad de residuos sólidos orgánicos que procesa la planta de biogás?

Aproximadamente 60Kg/día

2 ¿Cómo se seleccionan los residuos sólidos orgánicos para su utilización en el proceso de la producción de biogás?

Se hace una minuciosa separación tanto de materia orgánica indeseable como de materia orgánica no apta para el proceso. Una vez seleccionada se procede a picar a un tamaño menor de 5 cm. ya que la tolva del triturador actual mide 10 cm. Es muy recomendable picar la materia orgánica a un tamaño de 1 cm ya que de esta manera el triturador puede procesarla de manera rápida, además de que se evita forzar el motor de la misma.

3 ¿Cuál es el tamaño aproximado de los residuos sólidos orgánicos?

De 5 a 30 cm²

4 ¿En la planta se tiene acceso a corriente eléctrica?

Si

5 ¿De qué tipo?

Trifásica 220V y bifásica 220V.

6 ¿Qué periodo se considera adecuado para el mantenimiento de la nueva trituradora?

De 3 a 6 meses.

7 ¿Cómo considera la seguridad de la actual trituradora, Mala, Regular, Buena?

Regular

8 ¿Cuánto está dispuesto a pagar por una trituradora nueva?

Alrededor de 10 000 pesos

9 ¿De cuánto espacio dispone para la nueva trituradora?

De 2 m²

Considerando que los requerimientos de diseño son independientes de la apariencia del dispositivo, se clasifican los requerimientos del cliente, primeramente separándolos de acuerdo a su semejanza o interrelación (primer nivel de clasificación).

Con la experiencia trabajando en la planta de biogás y respuestas las anteriores preguntas se plantearon los siguientes requerimientos.

Tabla 4.1 Requerimientos generales (elaboración a partir de Guadalupe, 2009)

Económicos	Que su costo oscile alrededor de \$10,000 MX
Funcionales	Debe tener un motor de 1 a 3hp Periodo de trabajo menor a 1 hr Trituración de distintos tipos de materia orgánica Que se opere con mínimo personal Evitar la vibración lo máximo posible Que tenga un triturador uniforme de 1 a 2 cm Energía de operación eléctrica Fácil de operar
Espaciales	Un equipo de dimensiones reducidas Fácil de trasportar
Apariencia	Que tenga buena presentación
Manufactura	Que los materiales sean fáciles de adquirir Que sea fácil de ensamblar Debe ser lo más ligera posible Que sea fácil de manufacturar Que tenga un buen acabado Que tenga un mínimo de piezas
Conservación	Que el equipo tenga un tiempo de vida largo Que sus cuchillas sean duraderas
Seguridad	Debe ser segura

Ahora se procede a clasificar los requerimientos obligatorios, cuyo cumplimiento es indispensable, sin ellos el producto no podría considerarse satisfactorio en ningún grado. Además se destaca cuales se consideran medibles y cuales no medibles.

Tabla 4.2 Requerimientos obligatorios (elaboración a partir de Guadalupe, 2009)

	Requerimientos obligatorios	Medibles	No medibles
RO1	Trituración de distintos tipos de materia orgánica		X
RO2	Evitar la vibración lo máximo posible.	X	
RO3	Que tenga un triturado uniforme de 1cm a 2cm.	X	
RO4	Energía de operación eléctrica	X	
RO5	Que los materiales para su construcción sean fáciles de adquirir.		X
RO6	Que sus cuchillas sean duraderas	X	
RO7	Debe ser segura		X
RO8	Fácil de operar		X
RO9	Periodo de trabajo menor a 1 hora.	X	
RO10	Que su costo oscile alrededor de los \$10 000 MX.	X	
RO11	Que sea fácil de manufacturar		X
RO12	Que tenga un buen acabado		X

Tabla 4.3 Requerimientos deseables (modificado de Guadalupe, 2009)

	Requerimientos deseables	Medibles	No medibles
RD1	Debe tener un motor de 1 a 3 Hp		X
RD2	Que se opere con mínimo personal	X	
RD3	Un equipo de dimensiones reducidas	X	
RD4	Fácil de transportar	X	
RD5	Que sea fácil de ensamblar.		X
RD6	Debe ser lo más ligera posible	X	
RD7	Que tenga un mínimo de piezas		X
RD8	Que el equipo tenga un tiempo de vida largo.		X

4.3 Importancia relativa de los requerimientos

Los requerimientos deseables de la parte superior se ponderan uno a uno contra sí mismos por medio del proceso AHP, siguiendo la teoría expuesta en la metodología de diseño del tercer capítulo, para esto se asigna un valor numérico de acuerdo a la importancia de los requerimientos, para el caso particular de este trabajo la ponderación llevada a cabo se presenta en la Tabla 4.3 y se normaliza en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Matriz comparativa de requerimientos (modificado de Delgado, 2010)

	RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	RD6	RD7	RD8
RD1	1.00	3.00	3.00	5.00	0.20	7.00	0.14	0.20
RD2	0.33	1.00	3.00	3.00	0.14	5.00	0.33	0.14
RD3	0.33	0.33	1.00	0.33	0.11	3.00	0.20	0.33
RD4	0.20	0.14	3.00	1.00	0.20	3.00	0.33	0.20
RD5	5.00	7.00	9.00	5.00	1.00	7.00	0.33	3.00
RD6	0.14	0.20	0.33	0.33	0.14	1.00	0.11	0.11
RD7	7.00	3.00	5.00	3.00	3.00	9.00	1.00	0.33
RD8	5.00	7.00	3.00	5.00	0.33	9.00	3.00	1.00
TOTAL	19.01	21.68	27.33	22.67	5.13	44.00	5.45	5.32

Recordando que “el valor deberá ser entero cuando la escala de comparación favorece a la opción colocada en la parte izquierda de la matriz, de lo contrario, el valor será fraccionado debido a que se prefiere la opción colocada en la parte superior de la matriz”. Por último los requerimientos se jerarquizan según los porcentajes obtenidos en cada uno; de mayor a menor importancia relativa como en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Matriz comparativa de requerimientos normalizada (Delgado, 2010)

	RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	RD6	RD7	RD8	% Importancia
RD1	0.05	0.14	0.11	0.22	0.04	0.16	0.03	0.04	0.10
RD2	0.02	0.05	0.11	0.13	0.03	0.11	0.06	0.03	0.07
RD3	0.02	0.02	0.04	0.01	0.02	0.07	0.04	0.06	0.03
RD4	0.01	0.01	0.11	0.04	0.04	0.07	0.06	0.04	0.05
RD5	0.26	0.32	0.33	0.22	0.19	0.16	0.06	0.56	0.26
RD6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
RD7	0.37	0.14	0.18	0.13	0.58	0.20	0.18	0.06	0.23
RD8	0.26	0.32	0.11	0.22	0.06	0.20	0.55	0.19	0.24
TOTAL	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Por último los requerimientos se jerarquizan según los porcentajes obtenidos en cada uno; de mayor a menor importancia relativa como en la Tabla 4.5.

Tabla 4.6 Importancia relativa de requerimientos deseables (elaboración a partir de Guadalupe, 2009)

Grado de importancia	% de importancia	Requerimiento
1	0.26	RD5 Que sea fácil de ensamblar.
2	0.24	RD8 Que el equipo tenga un tiempo de vida largo.
3	0.23	RD7 Que tenga un mínimo de piezas
4	0.10	RD1 Debe tener un motor de 1 a 3 Hp
5	0.07	RD 2Que se opere con mínimo personal
6	0.05	RD4 Fácil de transportar
7	0.03	RD3 Un equipo de dimensiones reducidas
8	0.02	RD6 Debe ser lo más ligera posible

Se analizan los valores obtenidos en los porcentajes, como una consideración a seguir se debe poner especial atención en los 3 primeros requerimientos deseables durante los procesos siguientes en el diseño, estos son:

1. RD5 Que sea fácil de ensamblar.
2. RD8 Que el equipo tenga un tiempo de vida largo.
3. RD7 Que tenga un mínimo de piezas

4.4 Traducción de los requerimientos del cliente

Cuando algunos requerimientos del cliente son suficientemente precisos o lo bastante entendibles para un diseñador, se convierten directamente en metas de diseño, estas son: *“características mensurables que llevan asociadas magnitudes y unidades de medición”*. En otros casos, los requerimientos del cliente deben someterse a un proceso de traducción para obtener los términos mensurables que dan lugar a la fijación de metas de diseño.

La intención es llevar lo subjetivo del lenguaje del cliente hasta un lenguaje concreto, siempre objetivo. Un requerimiento expresado por el cliente, al pasar por este proceso será traducido en uno o más requerimientos mensurables, todo requerimiento traducido deberá ser asociado a una unidad de medida, tal como es el caso para los requerimientos obligatorios y deseables que fueron catalogados como no mensurables. La traducción hecha a los requerimientos se resume en un listado de requerimientos en la Tabla 4.6.

Tabla 4.7 Traducción de los requerimientos del dispositivo en términos medibles de ingeniería (elaboración a partir de Guadalupe, 2009)

Requerimiento	Traducción	Unidad de medida
RO1 Trituración de distintos tipos de materia orgánica	Adecuada fuerza de corte	N
	Área de corte	cm ²
RO2 Evitar la vibración lo máximo posible.	Piezas que giran, deben ser simétricas	cm ²
RO3 Que tenga un triturado uniforme de 1cm a 2cm.	Incluir una criba , con estas dimensiones	cm ²
	Tamaño del producto final	
RO5 Que los materiales para su construcción sean fáciles de adquirir.	Disponibilidad en el mercado nacional	No. de proveedores
	Costo de piezas	\$
RO7 Debe ser segura	No debe ser posible tener acceso a la zona de corte	No aplica
RO8 Fácil de operar	No. de personas para operar la máquina	Cantidad
	No. De operaciones para operar la máquina	Cantidad
RO10 Que su costo oscile alrededor de los \$10 000 MX.	Costo de las piezas	\$
	Costo del ensamble	\$
RO11 Que sea fácil de manufacturar	Tiempo de fabricación	\$
	Costo de fabricación	\$
RO12 Que tenga un buen acabado	Intervalo de tolerancias	Cm
RD5 Que sea fácil de ensamblar.	No. de elementos	Cantidad
	No. De personas para ensamblar	Cantidad
	Tamaño de los elementos	cm ³
RD8 Que tenga un tiempo de vida del equipo largo	Tipo de material	Pa
	Tiempo de operación	S
RD7 Que tenga un mínimo de piezas	No. de piezas	Cantidad
RD 2Que se opere con mínimo personal	No. de personas	Cantidad
RD4 Fácil de transportar	Espacio	cm ³
	Masa total del dispositivo	Kg
RD3 Un equipo de dimensiones reducidas	Tamaño de los componentes	cm ²
RD6 Lo más ligera posible	Peso de los componentes	N

4.5 Establecimiento de las metas de diseño

El establecimiento de las metas de diseño se lleva a cabo en la Tabla 4.7, considerando: Los requerimientos obligatorios y deseables del cliente en términos mensurables. La traducción de los requerimientos al principio catalogados como no mensurables. Algunas características de productos de la competencia. El valor agregado que se desea imprimir al nuevo producto. Una vez teniendo las metas de diseño, se colocan los requerimientos, la traducción de los mismos y las metas de diseño en lo que se conoce casa de calidad (Figura 4.1). Esta técnica del QFD, se presentan las especificaciones más importantes para satisfacer la necesidad del cliente (Guadalupe, 2009).

En la columna de la izquierda se coloca los “Que” que son los requerimientos que se obtuvieron contestado una serie de preguntas, la columna superior de la parte de en medio contiene los llamados “Como” que es la traducción de los requerimientos del cliente, la parte central nos indica la relación que se tiene entre los “Que” y los “Como”, la columna de la derecha indica la importancia de los “Que”, la parte inferior señala las metas de diseño y su importancia, la parte superior indica la relación entre los “Como”.

4.6 Análisis funcional del prototipo de la trituradora

Como se mencionó en el capítulo 3, para el análisis funcional busca identificar las funciones de servicio, descomponerlas en efectos subordinados y definir así lo esencial de esas entidades en cuanto a productoras de efectos. En la Tabla 4.7 se muestran las metas de diseño para la trituradora.

Por lo general el producto debe cumplir con utilizar energía eléctrica, transformarla en energía mecánica para la trituración de desechos orgánicos domésticos. En la Figura 4.2, donde se indica las entradas y salidas que debe tener el producto. Cuando se realiza cualquier diseño, se tiene que considerar cuáles son sus alcances, porque hay que definir y tomar en cuenta los límites del producto. Para entender los límites de la trituradora de desechos orgánicos sólidos, se consideran los siguientes conceptos;

Humano

Entorno

Elementos físicos propios

De tal forma que estos conceptos establecen los términos a considerar para el diseño tomado (Martínez, 2009).

Tabla 4.8 Metas de diseño para la trituradora (modificado de Delgado, 2010)

Metas de diseño	
Trituración de distintos tipos de materia orgánica	Trituración de 60 Kg/h Fuerza de corte de 400N Área triturado 30cm
Evitar la vibración lo máximo posible.	Elementos geométricos Entre 300-700 rpm
Que tenga un triturado uniforme de 1cm a 2cm.	Criba con orificios de 2 cm de diámetro
Energía de operación eléctrica	Motor de 1.5 Hp
Que los materiales para su construcción sean fáciles de adquirir.	Acero inoxidable 304
Que sus cuchillas sean duraderas	Acero inoxidable 304 Angulo de corte 45 grados Fuerza de corte mayor a 400 N
Debe ser segura	Tolva de entrada y salida
Fácil de operar	Encendido y Apagado Manual.
Periodo de trabajo menor a 1 hora.	Trituración rápida y sucesiva mediante 5 placas (cuchillas) de corte, repartidas sobre el perímetro del rotor
Que su costo oscile alrededor de los \$10 000 MX.	Costo menor a 10 000
Que sea fácil de manufacturar	3 semanas Pocas piezas
Que tenga un buen acabado	Corte por agua
Debe tener un motor de 1 a 3 Hp	Motor de 1.5 Hp
Que se opere con minino personal	1 persona por un periodo menor a una hora
Un equipo de dimensiones reducidas	Debe de acoplarse a ½ m2 por 2 metros de alto
Fácil de transportar	Peso total menor a 75kg
Que sea fácil de ensamblar.	Tiempo de ensamblaje menor a 3 horas Tornillo Allen
Debe ser lo más ligera posible	Peso total menor a 75 kg
Que tenga un minino de piezas	Menor a 70
Que el equipo tenga un tiempo de vida largo.	Acero inoxidable 304

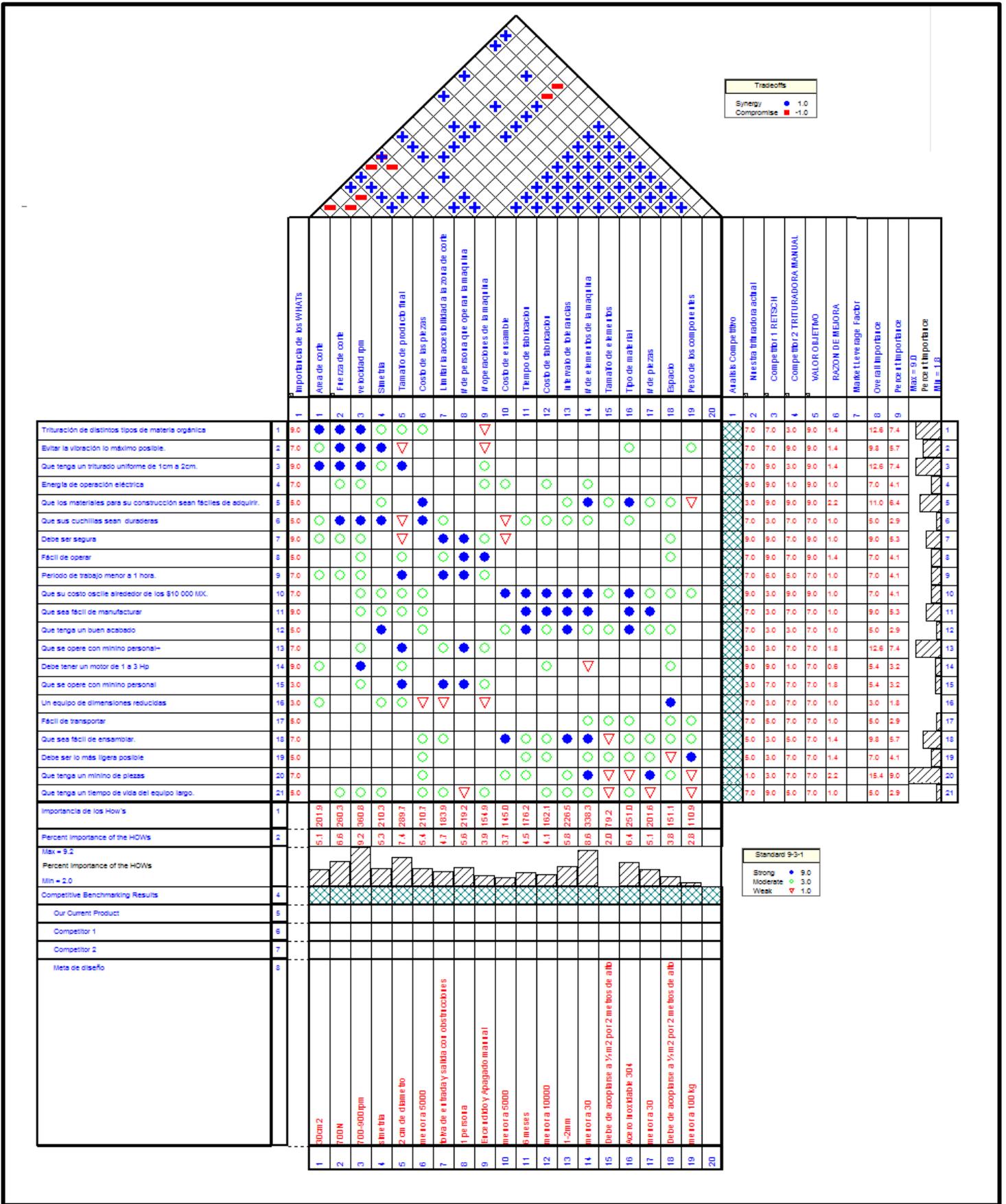


Figura 4.1 Casa de calidad del triturador de desechos orgánicos (Modificado de Delgado, 2010)

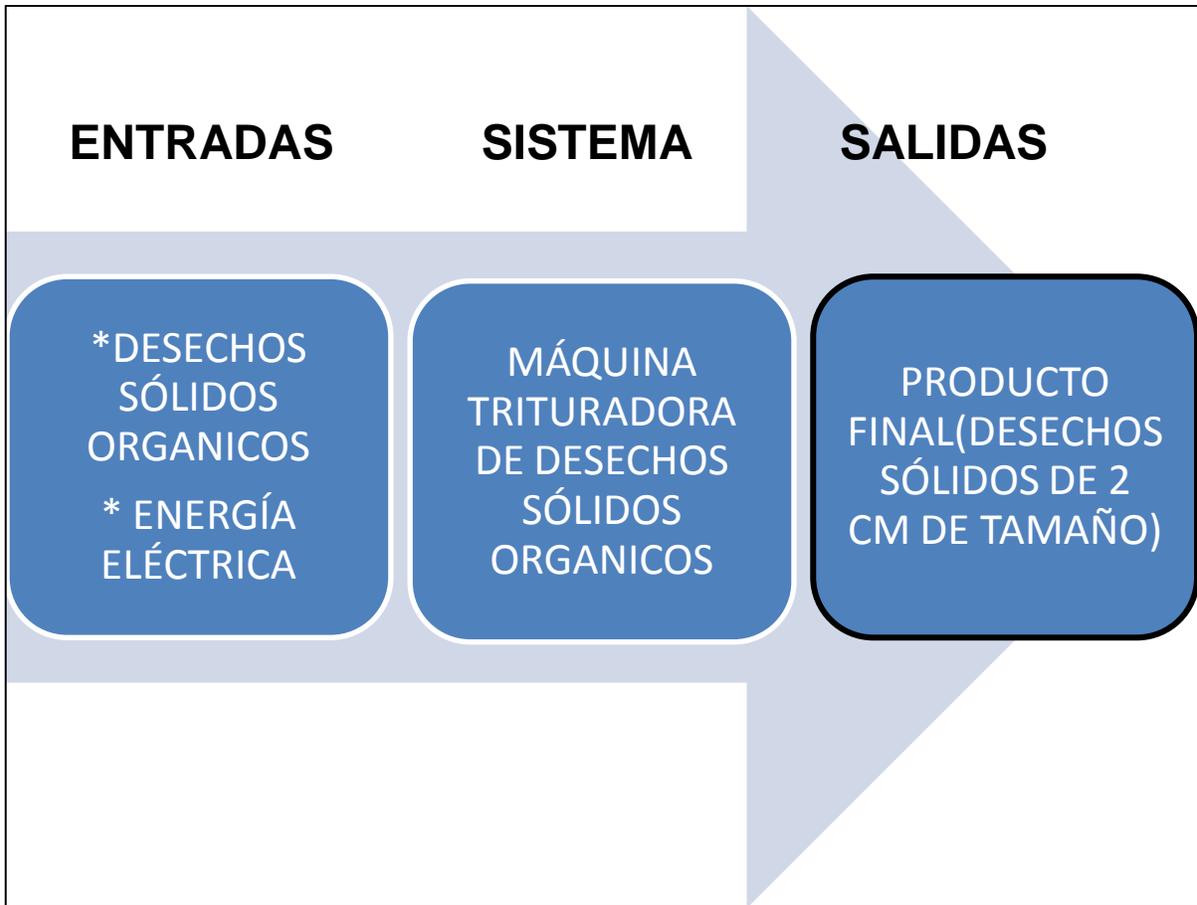


Figura 4.2 Diagrama funcional de entradas y salidas del triturador (modificado de Martínez, 2009)

Se entiende como factor humano, que la máquina debe ser operada por una persona para su alimentación y su mantenimiento. El entorno se refiere a tener las condiciones óptimas de espacio e instalaciones necesarias para su correcta aplicación. Los elementos físicos propios, representan límites entre cada uno de ellos, ya que debe haber una secuencia de operación, para cada uno de los elementos. Para implantar los límites del sistema, es necesario establecer también sus funciones de servicio, es decir, aquellas que relacionan al objeto de diseño con uno o más elementos de su entorno. Existen parámetros, que están involucrados directamente con las funciones que se van a desarrollar en el modelo funcional general, estos parámetros son energía, materia e información y cada uno variará según que se esté diseñando (Rubio, 2005).

Para el caso del prototipo de trituradora que está siendo desarrollado, los parámetros son definidos en la Tabla 4.8, partiendo desde un estado inicial hasta un estado final. En las Figuras 4.3 y 4.4 se muestran los diagramas funcionales, el de la Figura 4.3 es el diagrama funcional general.

Tabla 4.9 Representación de los parámetros presentes en el prototipo de trituradora (Martínez, 2009)

Parámetro	Estado inicial	Estado final
Materia	Desechos orgánicos sólidos (distintos tamaños 5-30cm)	Desechos orgánicos sólidos tamaño uniforme de 2cm
Energía	Energía eléctrica 220 v	Energía mecánica calor ruido
Información	Arranque/ paro	Arranque/paro

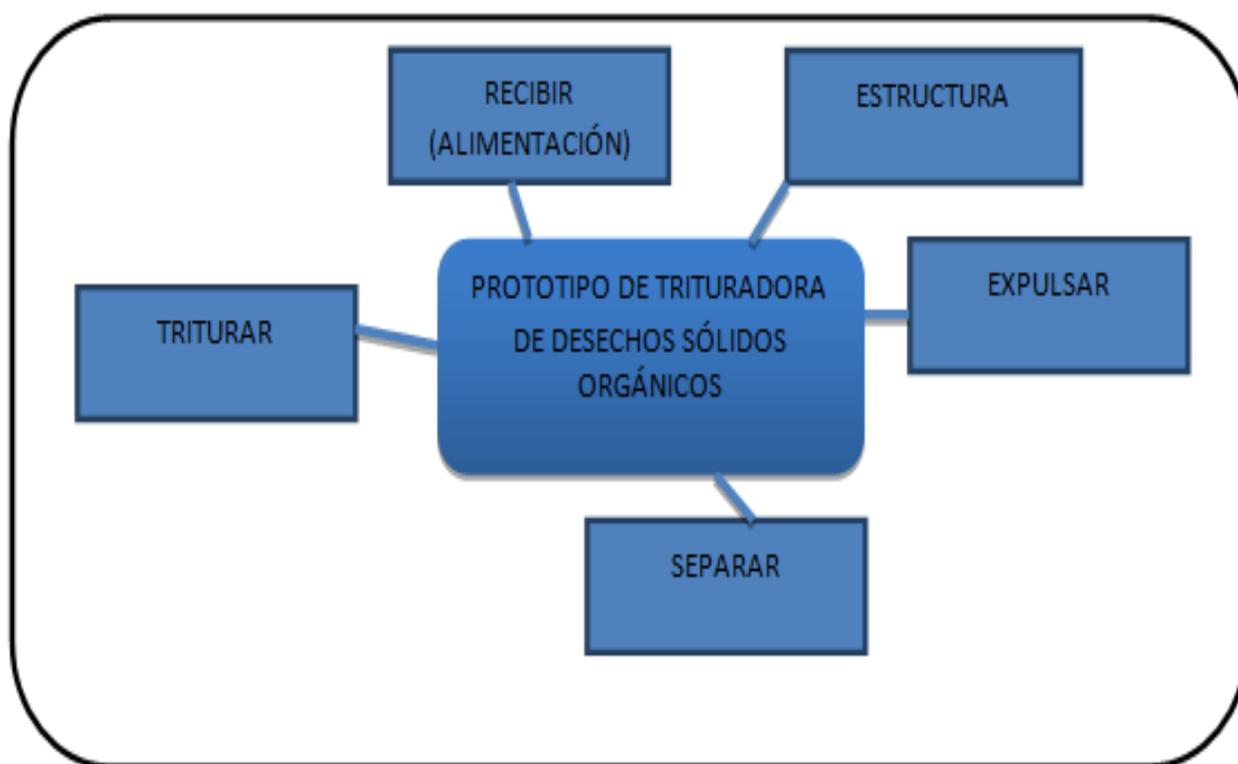


Figura 4.3 Funciones principales del prototipo de trituradora (elaboración a partir de Martínez, 2009)

A continuación se procederá a describir cada función del prototipo de trituradora.

Estructura.- Sujeción de la trituradora a una base fija.

Recibir.- Se refiere a que el prototipo permitirá recibir y dirigir los desechos sólidos orgánicos a la función de trituración.

Trituración.-Es la función principal, es aquí donde se reducirán las dimensiones de los desechos sólidos orgánicos, considerando que las partículas no entren en el intervalo de dimensiones definido serán trituradas hasta conseguir el tamaño deseado.

Separar.- Esta función consiste en separar aquellas partículas que cumplan con el tamaño definido, y el resto de las partículas continuara en el proceso de trituración hasta que se logre el objetivo.

Expulsar.- Una vez que se logre el tamaño deseado de los desecho sólidos orgánicos, estos serán desalojados del prototipo.

Con esta descripción de funciones se obtuvieron algunas respuestas de lo que se infiere que pasara dentro del equipo, conociendo las entradas y las salidas en términos de energía, material e información, con cual se puede realizar un diagrama con las funciones de servicio y sus interrelaciones como se muestra en la Figura 4.4.

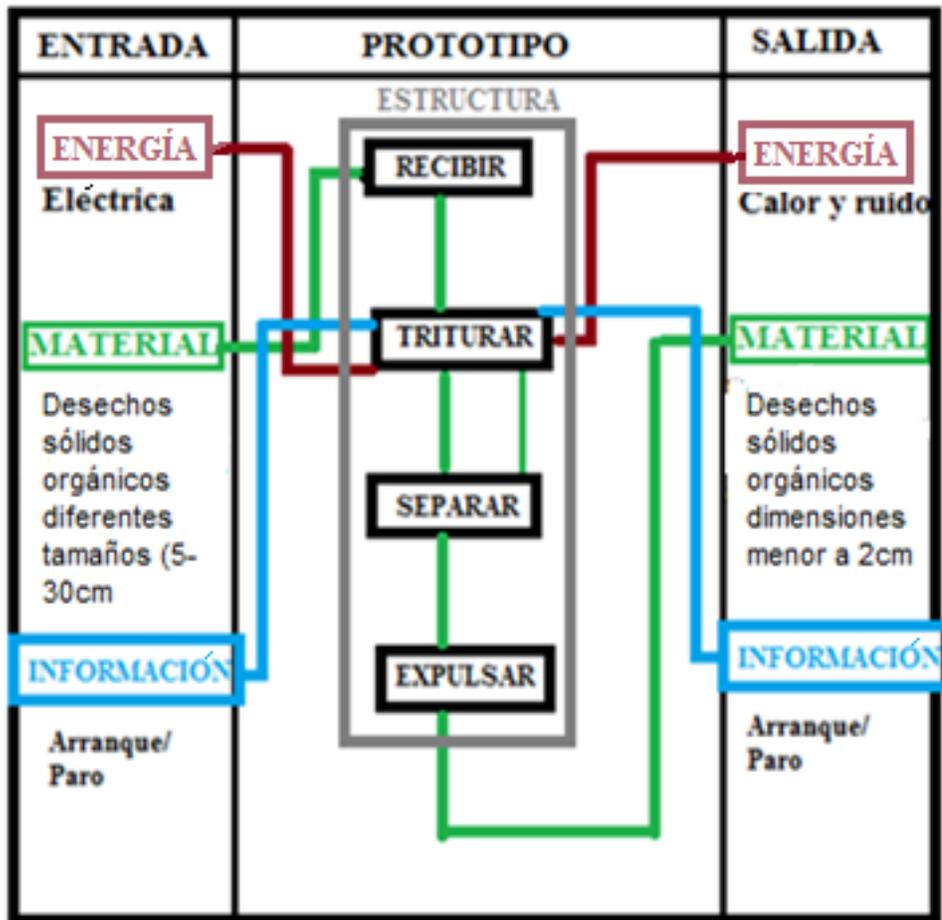


Figura 4.4 Funciones de servicio y sus interrelaciones (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Capítulo 5 Resultados del diseño conceptual

5.1 Método Pugh

Una vez establecidas las funciones, se procede a centrar la atención en definir exclusivamente las funciones necesarias para lograr cumplir los requerimientos del cliente. El método empleado para generar los conceptos necesarios para resolver cada una de las funciones, será la tormenta de ideas (Báez, 2009). Una vez generados los conceptos, se procederá a evaluar y encontrar cual es el más adecuado según la función, para ello será empleado el método Pugh, el cual consiste en comparar cada concepto con relación a otro en su capacidad para cumplir adecuadamente con los requerimientos del cliente tomando un concepto como referencia.

Para la evaluación de los conceptos según su cumplimiento con los requerimientos, se empleará “el método Pugh” La comparación de los resultados proporciona las bases para identificar las mejores opciones y permitir contar con una referencia para tomar decisiones. Las funciones que deben ser cumplidas, en la generación conceptual y evaluada con dicho método son:

Estructura.- Sujeción de la trituradora a una base fija.

Recibir.- Alimentar a la máquina trituradora y dirigir los desechos orgánicos a la siguiente función.

Trituración.- Triturar los desechos sólidos orgánicos a aproximadamente 2cm

Separar.- Separar aquellas partículas que cumplan con el tamaño definido, y el resto de las partículas continuará en el proceso de trituración hasta que se logre el objetivo.

Expulsar.- Una vez que se logre el tamaño deseado de los desecho sólidos orgánicos, estos serán desalojados del prototipo.

Ahora se procede a crear y plantear opciones para las funciones antes mencionadas. La cuales se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Opciones para satisfacer la función recibir (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Función	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Recibir (alimentación)	Tolva cuadrada	Banda transportadora	Rampa lisa	Tolva mixta

5.2 Función *recibir* de la trituradora

Una vez obtenidos los conceptos procedemos a realizar bocetos de los mismos y analizar cual concepto se adecua más a los requerimientos del cliente, en la Figura 5.1 se muestran los bocetos para la función recibir.

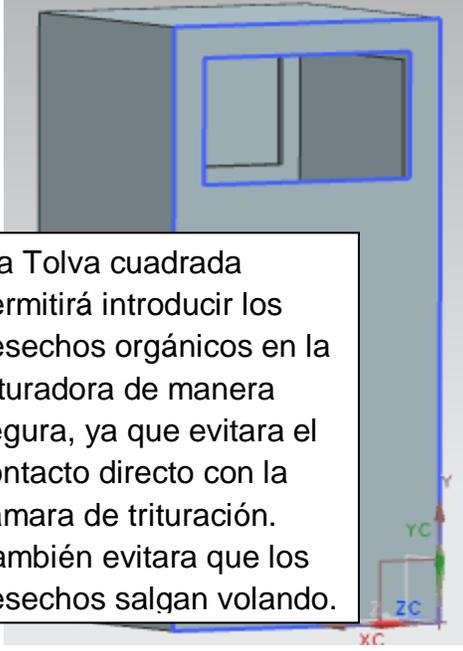
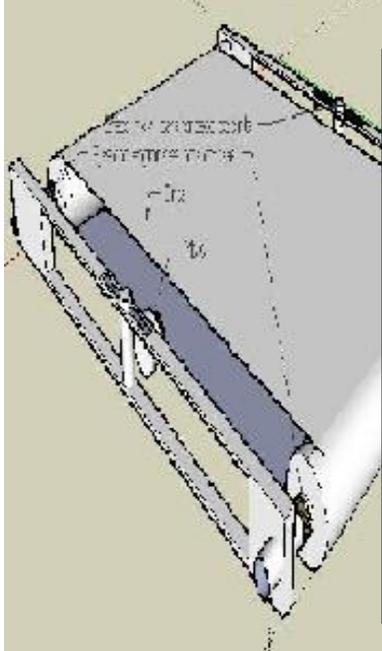
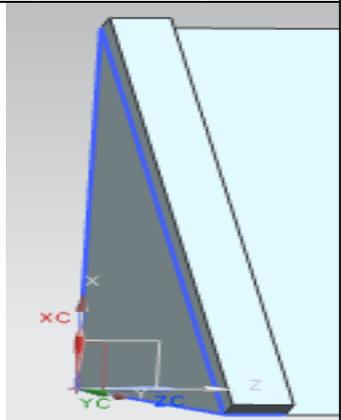
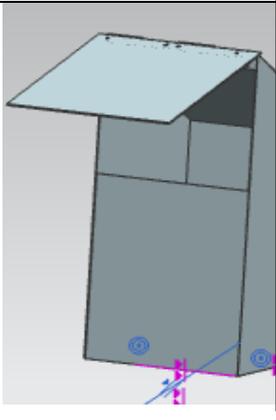
Función recibir	
<p>Opción 1 Tolva cuadrada</p>  <p>La Tolva cuadrada permitirá introducir los desechos orgánicos en la trituradora de manera segura, ya que evitara el contacto directo con la cámara de trituración. También evitara que los desechos salgan volando.</p>	<p>Opción 2 Banda transportadora</p>  <p>La banda transportara los desechos hasta la cámara de trituración, facilitando su preselección. Ocupa demasiado espacio y es costosa</p>
<p>Opción 3 rampa lisa</p>  <p>Dirige los desechos hacia la cámara de trituración, pero no limita el contacto con los rotores.</p>	<p>Opción 4 tolva mixta</p>  <p>La tolva mixta, protege al usuario de los rotores, evita que los desechos salgan volando.</p>

Figura 5.1 Bocetos para la función recibir del prototipo de la trituradora

En la Tabla 5.2 se muestra la evaluación conceptual para la función recibir, donde se muestra dice que la opción 4 es la mejor, ya que cumple con más requerimientos del cliente. Además las cuales se mencionan en las Tablas 5.1 y 5.2 que son materiales de fácil obtención, seguridad para el usuario, dimensiones reducidas y de fácil ensamble.

Tabla 5.2 Evaluación conceptual para la función recibir (elaboración a partir de Martínez, 2009)

Función recibir					
Requerimientos	%p	Conceptos			
		1	2	3	4
RO5 Materiales sean fáciles de adquirir.	1		0	0	0
RO7 Debe ser segura	1		0	0	1
RD3 Un equipo de dimensiones reducidas	0.03		+	+	+
RD5 Que sea fácil de ensamblar.	0.26		-	+	+
TOTAL			-0.23	0.29	1.29

5.3 Función *trituration* de la trituradora

En la Tabla 5.3, se muestra el planteamiento de opciones para la función triturar, donde los desechos sólidos orgánicos obtienen su tamaño deseado.

Tabla 5.3 Planteamiento de opciones para satisfacer la función triturar (elaboración a partir de Martínez, 2010)

Función	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Triturar	Rotor continuo	Rotor discontinuo	Cuchillas paralelas	Engranés

En la tabla 5.4 se muestra la evaluación conceptual para la función triturar, donde se dice que la opción 2 es la mejor, ya que permite triturar distintos tipos de materia orgánica, gracias a su geometría de corte evita al máximo la vibración, al ser de acero inoxidable se tiene una vida útil larga. Además cabe mencionar que el acero inoxidable es el que mejor se adapta a este tipo de trabajo ya que siempre se estará en contacto con residuos orgánicos que contienen mucho líquido, y también esta opción reduce el peso, material y el costo que se puede utilizar en dicho prototipo.

Tabla 5.4 Evaluación conceptual para la función trituración (elaboración a partir de Martínez, 2010)

		Función trituración			
Requerimientos	%p	Conceptos			
		1	2	3	4
RO1 Trituración de distintos tipos de materia orgánica	1	1	1		1
RO2 Evitar la vibración	1	0	1		0
RO6 Cuchillas sean duraderas	1	1	1		0
RO11 Fácil de manufacturar	1	0	1		0
RD7 Que tenga un mínimo de piezas	0.23	-	-		-
RD8 Vida del equipo larga.	0.24	+	+		+
TOTAL		3.01	4.01		1.01

Para realizar algunos conceptos utilizados para la función triturar se utilizó el software de diseño NX 7.5 como el rotor continuo, rotor discontinuo, cuchillas paralelas y engranes, los cuales se muestran en la Figura 5.2, donde también se muestran algunas de las características de cada uno y se da una breve explicación sobre su manufactura.

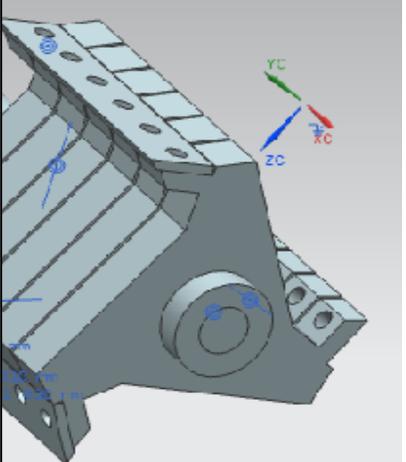
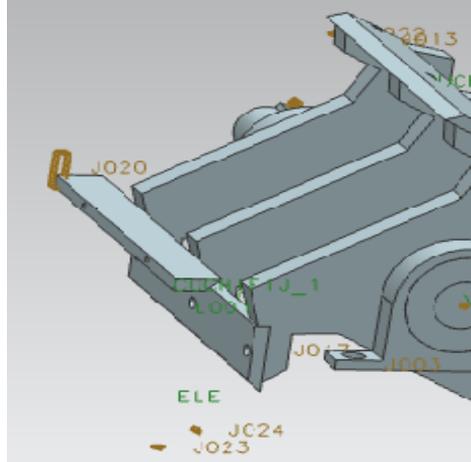
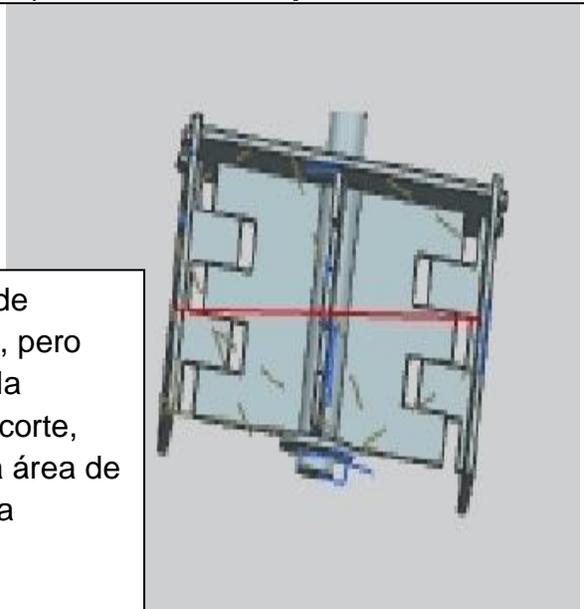
Función triturar	
Opción 1 Rotor continuo	Opción 2 Rotor discontinuo
<p>El rotor de 6 discos consta de discos de corte de acero inoxidable que van cortando el material sucesivamente. La manufactura es muy costosa. Utiliza gran cantidad de acero inoxidable.</p> 	<p>Las cuchillas del rotor de corte paralelo realizan la trituración con una poderosa acción de corte. Utiliza mucho menos acero inoxidable que la primera opción. Los rotores son simétricos evitando la vibración.</p> 
Opción 3 Cuchillas paralelas	Opción 4 Engranajes
<p>Es muy fácil de manufacturar, pero tiene una mala eficiencia de corte, por su amplia área de corte, tiende a atascarse.</p> 	 <p>Tritura una amplia gama de materiales, posee una gran cantidad de piezas y es muy costoso.</p>

Figura 5.2 Bocetos para la función triturar del prototipo de la trituradora

5.4 Función *separar* de la trituradora

Para la función separar se tiene en cuenta que el material triturado que tenga el tamaño adecuado pase a ser expulsado de la cámara de trituración y el que no cumpla con el tamaño especificado, será triturado nuevamente. En la Tabla 5.5 se muestran opciones generadas para esta función.

Tabla 5.5 Opciones para satisfacer la función separar (elaboración a partir de Martínez, 2010)

Función	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Separar	Criba plana	Sin criba	Reja	Criba media luna

En la Tabla 5.6 se muestra la evaluación conceptual para la función de separar, la cual se muestra dice que la opción 4 es la indicada para satisfacer las necesidades del cliente. En la Figura 5.3, en las imágenes de la lluvia de ideas generada para la función separar, donde se aprecia que la criba de media luna es la mejor opción ya que se adapta mejor al espacio donde se encuentra los rotores y reduce el área de corte provocando un corte más eficiente, y que ningún residuo sólido se quede pegado en las orillas del triturador.

Tabla 5.6 Evaluación conceptual para la función separar (elaboración a partir de Martínez, 2010)

Función separar					
Requerimientos	%p	Conceptos			
		1	2	3	4
RO3 Triturado uniforme de 2cm	1	0	0		1
RO7 Debe ser segura	1	0	0		1
RO12 Buen acabado	1	1	0		0
RD6 Ligera	0.02	+	+		+
RD4 Fácil de transportar	0.05	+	+		-
RD2 Opere con mínimo personal	0.07	+	+		+
TOTAL		1.14	0.14		2.04

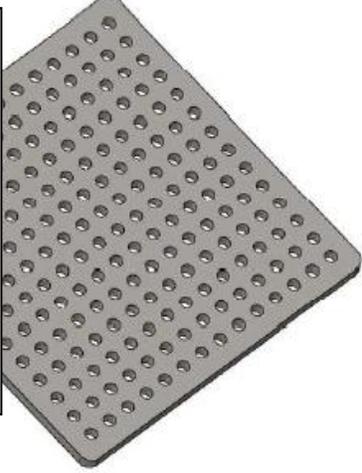
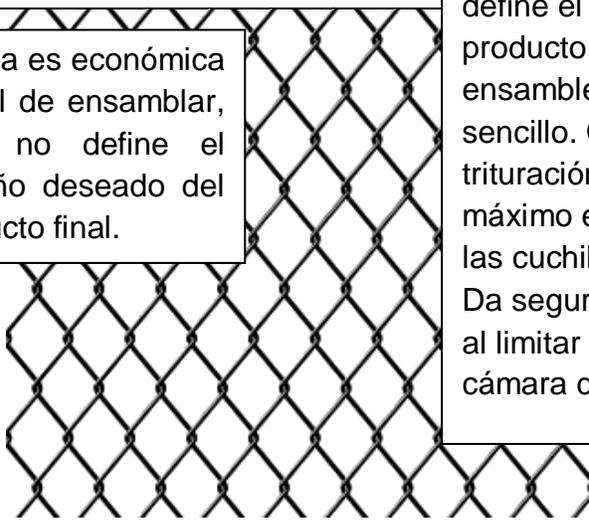
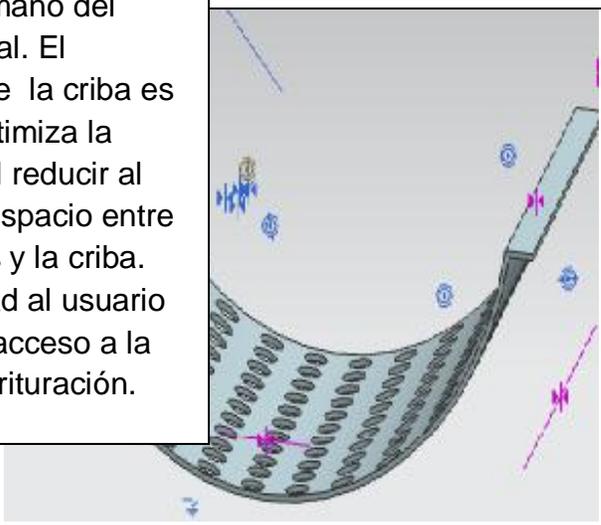
Función separar	
<p>Opción 1 Criba plana</p> <p>La criba plana da seguridad al equipo al no permitir el contacto directo con el usuario. Define el tamaño del producto final. Ya que el ensamble de la criba es sencillo.</p> 	<p>Opción 2 Sin criba (vacío)</p> <p>Al no tener un elemento que separe el producto final de la cámara de trituración, permite que usuario pueda acceder a los rotores y cuchillas, haciendo a la trituradora peligrosa al operador.</p>
<p>Opción 3 Reja</p> <p>La reja es económica y fácil de ensamblar, pero no define el tamaño deseado del producto final.</p> 	<p>Opción 4 Criba media luna</p> <p>La criba media luna define el tamaño del producto final. El ensamble de la criba es sencillo. Optimiza la trituración al reducir al máximo el espacio entre las cuchillas y la criba. Da seguridad al usuario al limitar el acceso a la cámara de trituración.</p> 

Figura 5.3 Bocetos para la función separar del prototipo de la trituradora

5.5 Función *expulsar* de la trituradora

Para la función expulsar, se evaluaron varias ideas, las cuales se presentan en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Lluvia de ideas para satisfacer la función expulsar (elaboración a partir de Martínez, 2010)

Función	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Expulsar	Presión de aire	Aspiradora	Caída libre	Vibración del corte

En la Tabla 5.8 se muestra la evaluación conceptual para la función de expulsar, la cual nos dice que la opción de referencia es la indicada para satisfacer las necesidades del cliente. En la Figura 5.4 se muestran los bocetos de la función expulsar.

Tabla 5.8 Evaluación conceptual para la función expulsar (elaboración a partir de Martínez, 2010)

Función expulsar					
Requerimientos	%p	Conceptos			
		1	2	3	4
RO2 Evitar la vibración	1	0	0		0
RO8 Fácil de operar	1	0	0		0
RO10 <\$10 000 MX	1	0	0		0
RD2 Opere con minino personal	0.07	-	+		+
RD4 Fácil de transportar	0.05	+	-		-
RD6 Ligera	0.02	+	-		-
RD7 Debe ser segura	0.23	-	-		-
TOTAL		-0.23	-0.23		-0.23

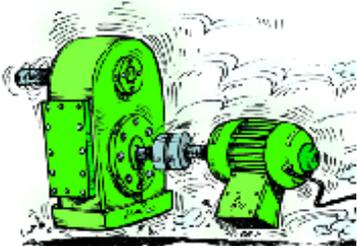
<p>Opción 1 Presión de aire</p> 	<p>Opción 2 Aspiradora</p> 
<p>Opción 3 Caída libre</p> 	<p>Opción 4 Vibración del corte</p> 

Figura 5.4 Bocetos para la función expulsar del prototipo de la trituradora

Finalmente con las opciones evaluadas se procede a realizar un modelo conceptual del prototipo de trituradora, ensamblado dichas funciones, además se adicionan componentes para satisfacer lo planteado en la sección de detalles de diseño y se afinan características con la intención de tener un concepto, plenamente satisfactorio. El prototipo consta de una tolva que evite el contacto directo con la cámara de trituración, los 3 rotores de acero inoxidable 304 que utiliza están alineados y distribuidos de tal manera tener un amplia área de corte, ya que en su tres extremos están fijas tres cuchillas, la carcasa tiene un grosor de ¼ pulg de acero inoxidable y tiene acoplado dos cuchillas para permitir el corte de material con las cuchillas de los rotores, ya que tiene una separación de 1mm de distancia entre cuchillas cuando el rotor gira. La criba tiene una geometría radial, permitiendo optimizar el corte de materia orgánica. El eje lleva acoplado una polea de 16pulg para transmitir el torque del motor. De la Figura 5.5 a la 5.11 se muestra el modelo del prototipo.

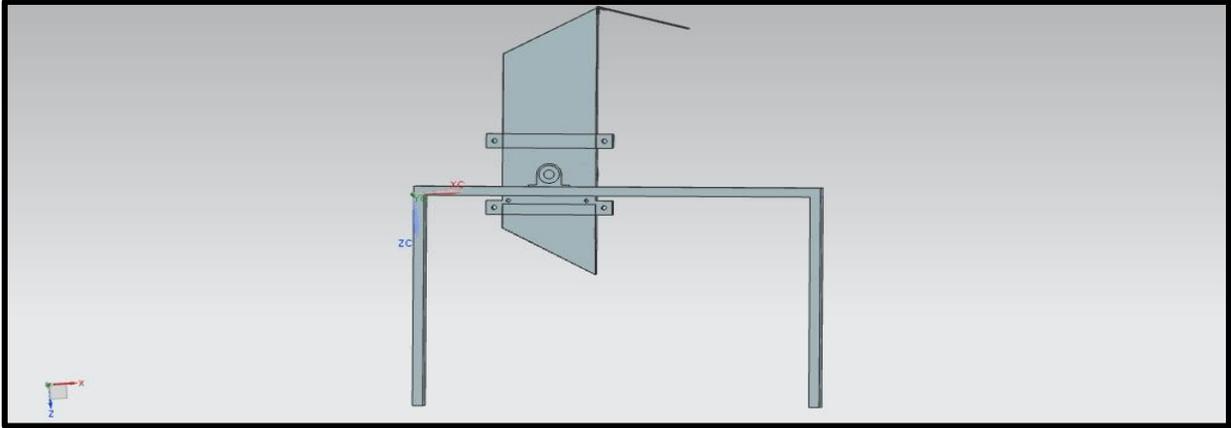


Figura 5.5 Modelo en 3D del prototipo de la trituradora

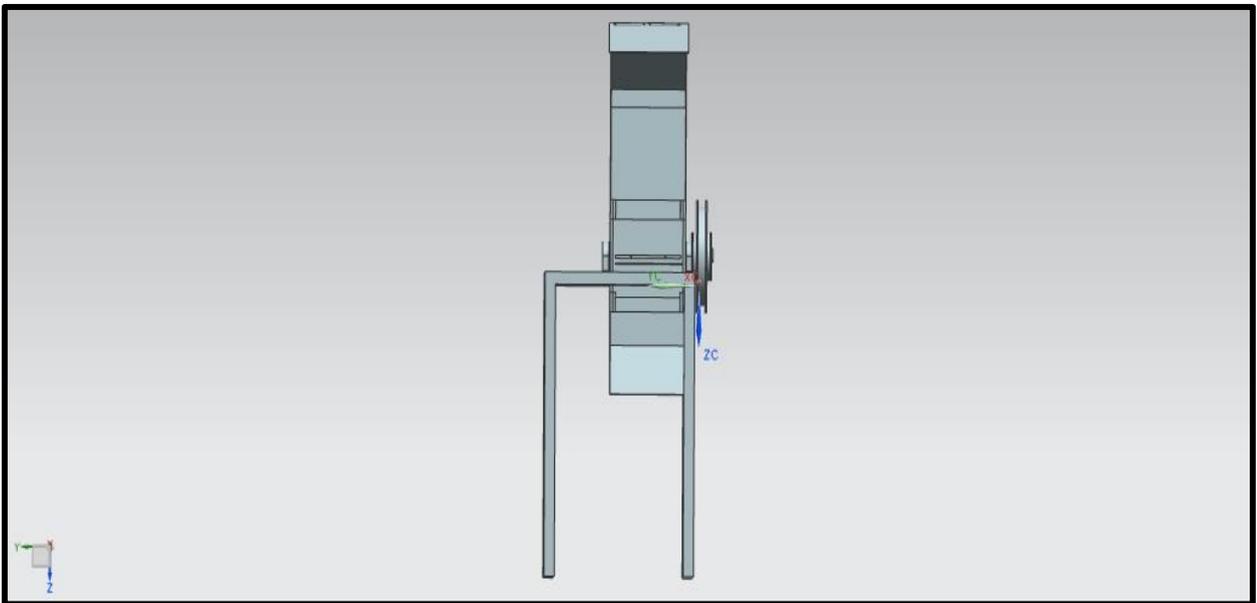


Figura 5.6 Modelo en 3D del prototipo de la trituradora

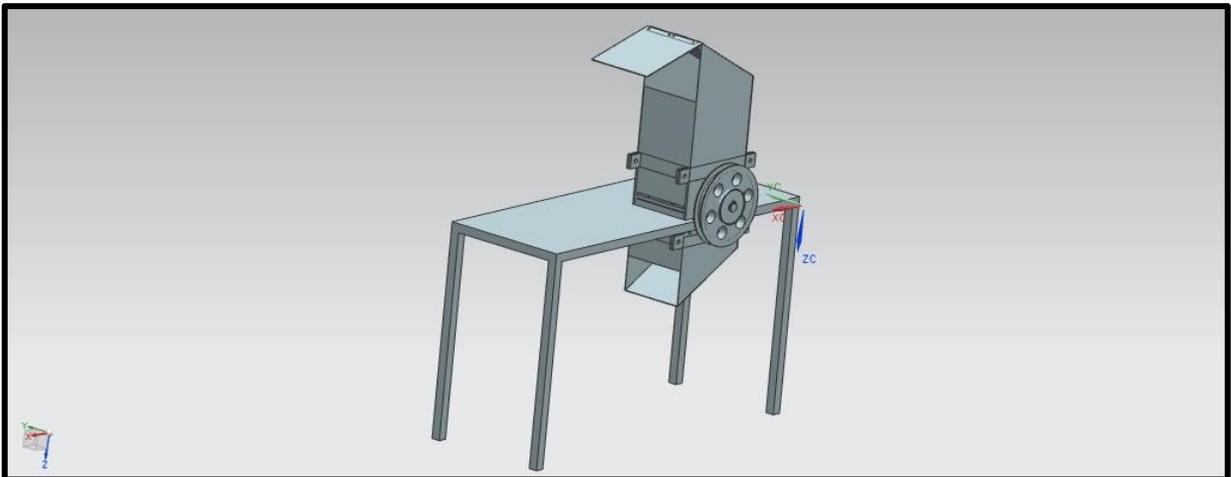


Figura 5.7 Modelo en 3D del prototipo de la trituradora

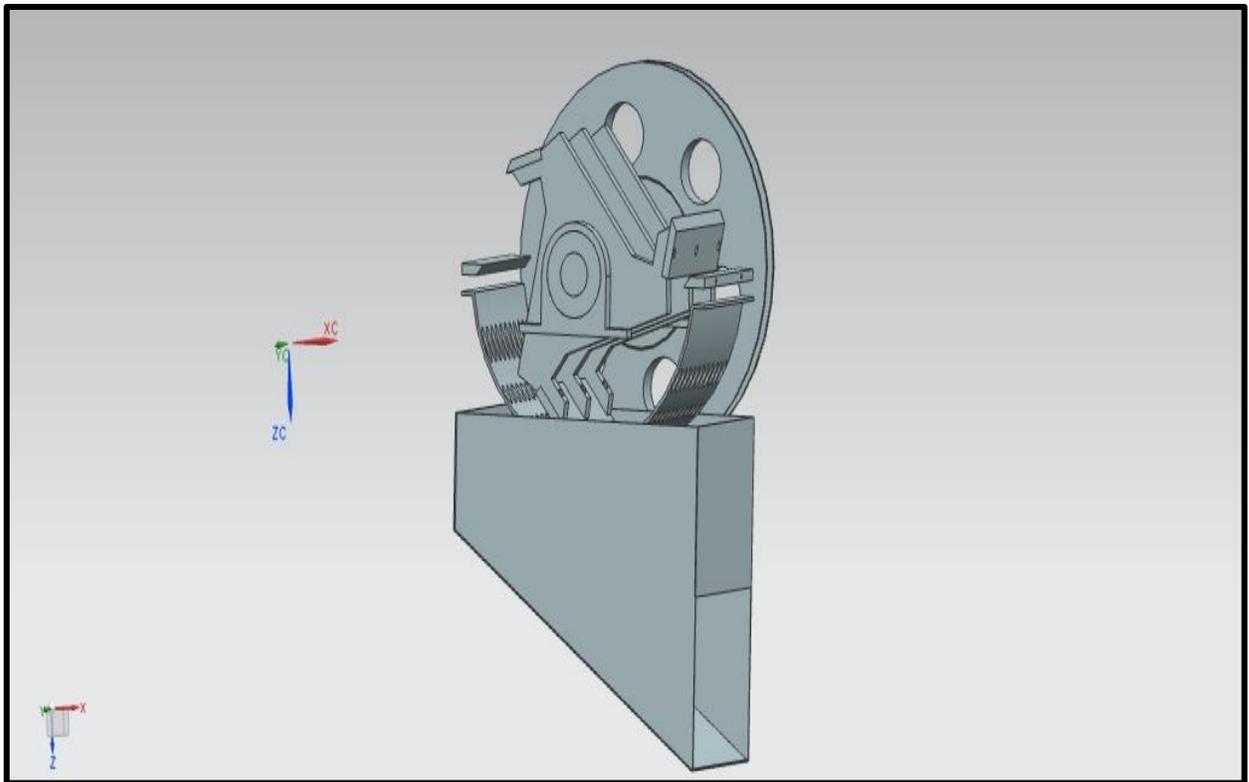


Figura 5.8 Modelo en 3D de la carcasa de salida de la trituradora

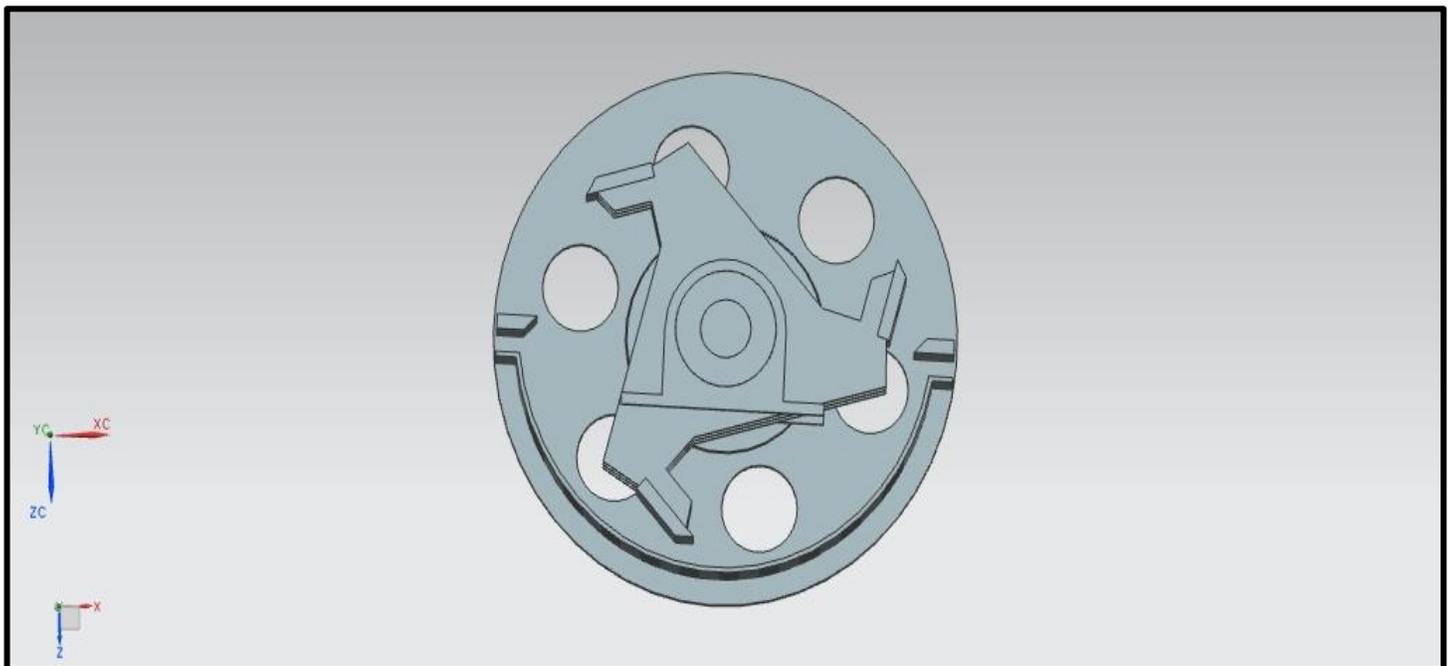


Figura 5.9 Modelo en 3D del interior de la trituradora

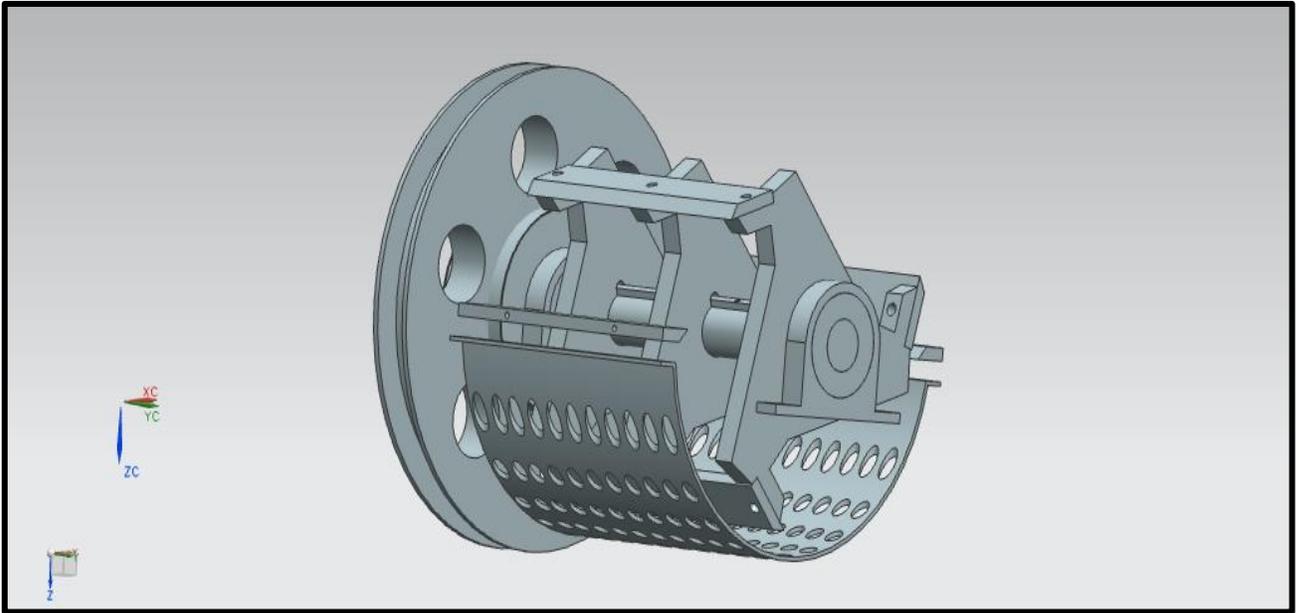


Figura 5.10 Modelo en 3D del interior de la trituradora

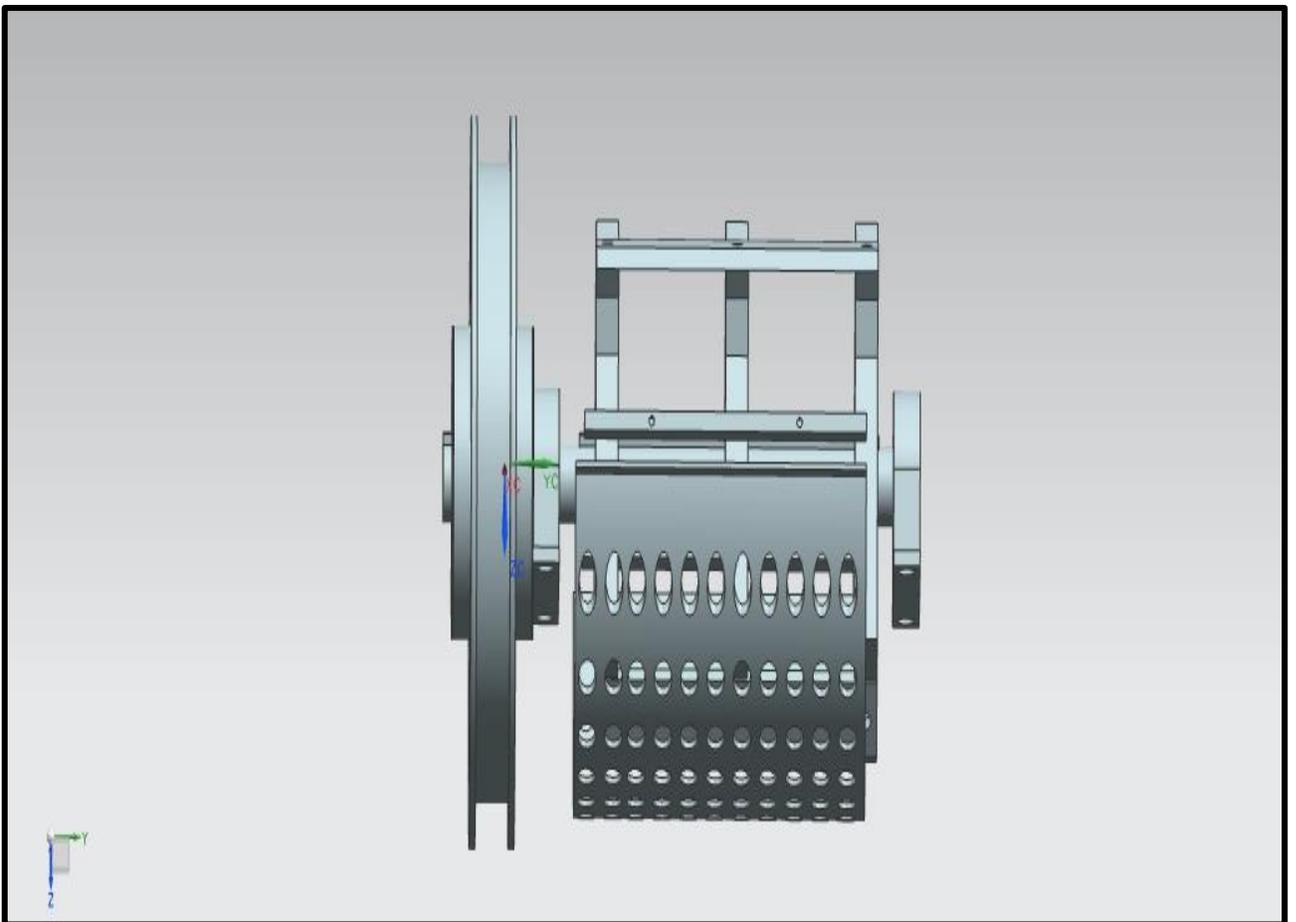


Figura 5.11 Modelo en 3D del interior de la trituradora

En la Tabla 5.9 se nombran los componentes que son más propensos a fallar. La importancia relativa para uno de los componentes surge de criterios de diseño mecánico, además de la función principal que cada uno de ellos desarrolla dentro del dispositivo. Finalmente los componentes con el porcentaje más alto son diseñados con especial cuidado y atención, estos son: El eje, la cuña, los rotores y las cuchillas. Los planos del modelo del triturador se encuentran en el anexo A del presente trabajo.

Tabla 5.9 Matriz de fallas y efectos aplicada al dispositivo (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Componente Falla	Importancia relativa	Vibración	No tritura	Se Atasca	Dispositivo inseguro	Corrosión	Desgaste	TOT	%F
EJE	8							152	12.1
CRIBA	8							120	9.6
CAMARA DE TRITURAR	7							70	5.6
POLEA 16"	6							24	1.9
MOTOR ELÉCTRIC O	8							48	3.8
SOPORTE	7							28	1.9
VALEROS	7							28	1.9
CHUMACE- RAS	7							28	1.9
TORNILLO S	8							96	7.7
CUCHILLA S	8							144	11.5
CUÑA	9							243	19.4
ROTORES	9							270	21.5

Capítulo 6 Resultados del diseño de detalle

6.1 Cálculo de la potencia del motor

Debido a que uno de los requerimientos del cliente es que sea lo más económica posible, gestionando que se donara dicho motor por parte de la empresa “Confecciones Géminis” la cual donó un motor eléctrico de 1.5 hp y de 1700 rpm. Para calcular el torque del motor (N*m) se obtiene dividiendo la potencia (W) entre las revoluciones por segundo (1/s): Donde se puede observar en la ecuación 6.1. Para obtener la fuerza aplicada en la cuchilla de la maquina en N. La obtenemos a partir de la ecuación 6.2. Donde se divide el torque de 6.285 N*m entre el radio del rotor del prototipo de trituradora $r=0.0832\text{m}$ y la fuerza aplicada resulta de $F=402.928\text{ N}$.

De las ecuaciones:

$$T=P/w \dots\dots\dots \text{ec (6.1)}$$

$$F=T/r \dots\dots\dots \text{ec (6.2)}$$

Debido a la complejidad de desarrollar un modelo matemático para llegar a determinar la potencia del motor, se tomará en cuenta que se deberían analizar los esfuerzos que las cuchillas ejercen sobre los desechos sólidos orgánicos, tomando en cuenta que son una cantidad innumerable y que sus propiedades van cambiando dependiendo del tipo de desecho que se esté triturando y el tamaño de dicho residuo. Además de tener una limitante ya que el motor donado tiene características definidas. En la Tabla 6.1 se muestran características del motor del prototipo de trituradora.

Tabla 6.1 Características del motor del prototipo de la trituradora.

HP rpm	1.5
$P=T*w$ (watts)	1119
$T=P/w$ (N*m)	6.285
Dpolea motor (pulg)	4
Dpolea eje (pulg)	16
$w2=w1*(Dm/De)$ (radianes)	33.379
$w2=w1*(Dm/De)$ (rpm)	318.75
$T2=P/w2$ (N*m)	33.523
R	0.0832
$F=T2/d$ (N)	402.928

6.2 Diseño del eje de la trituradora

El eje de la trituradora está sometido a cargas de flexión y de torsión que se generan por efecto de la transición de potencia que se da entre las poleas y el eje, también hay que tomar en cuenta los rodamientos ubicados en los extremos del eje. En la Figura 6.1 se muestra un arreglo de los elementos a considerarse para el diseño.

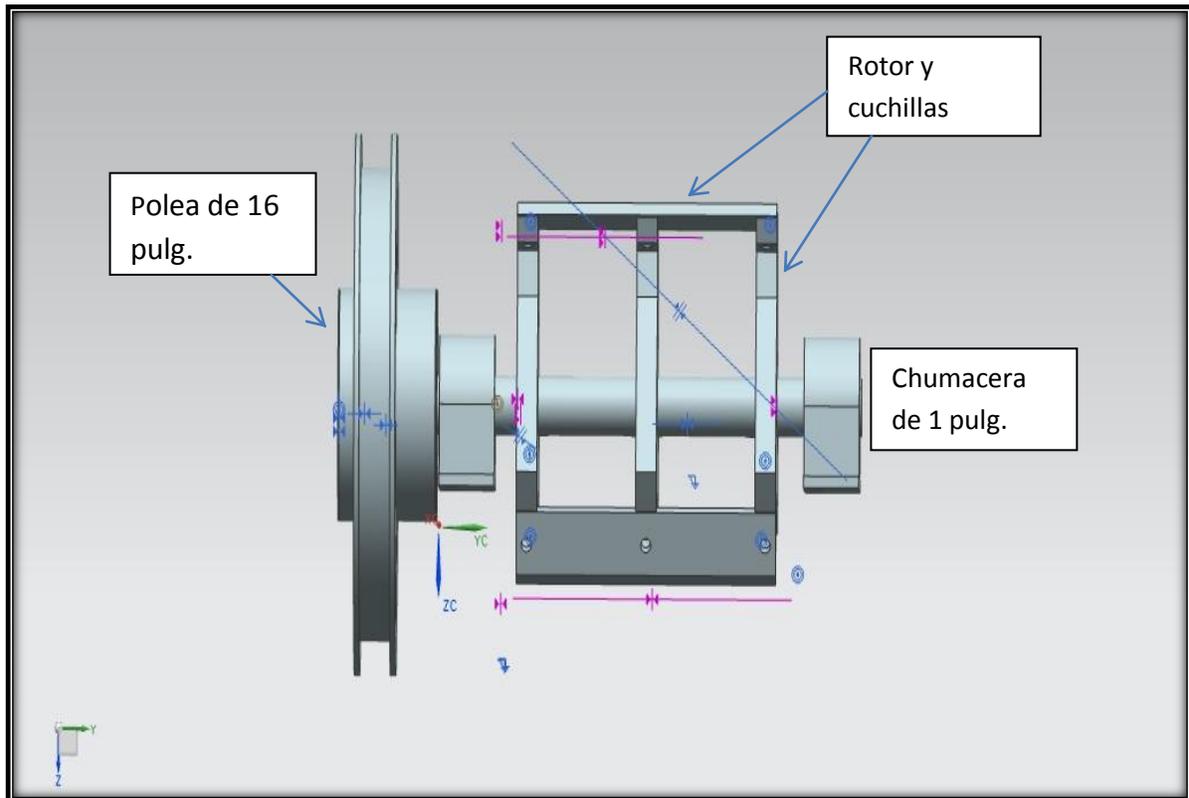


Figura 6.1 Vista en 2D de la polea, chumaceras, eje y rotor de la trituradora

El eje transmite el torque a 3 cuchillas, que están sostenidas en la parte superior de los rotores. Para realizar el diseño estático se obtiene a partir de los diagramas de momento, corte y del cálculo de las reacciones. En la Figura 6.2 se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje de la trituradora, en el cual constan todas las reacciones del eje y del porta cuchillas.

En donde:

A_z y A_y : Reacciones en el rodamiento 1

Q = Peso de las cuchillas, de los 3 rotores, eje y cuñas (en este caso lo consideramos como una fuerza puntual).

D_y = Fuerza generada por el impacto de las cuchillas con el móvil en el instante t .

B_z y B_y = Reacciones en el rodamiento 2.

F_s y T_c = Reacción y torque generado por la polea de 16".

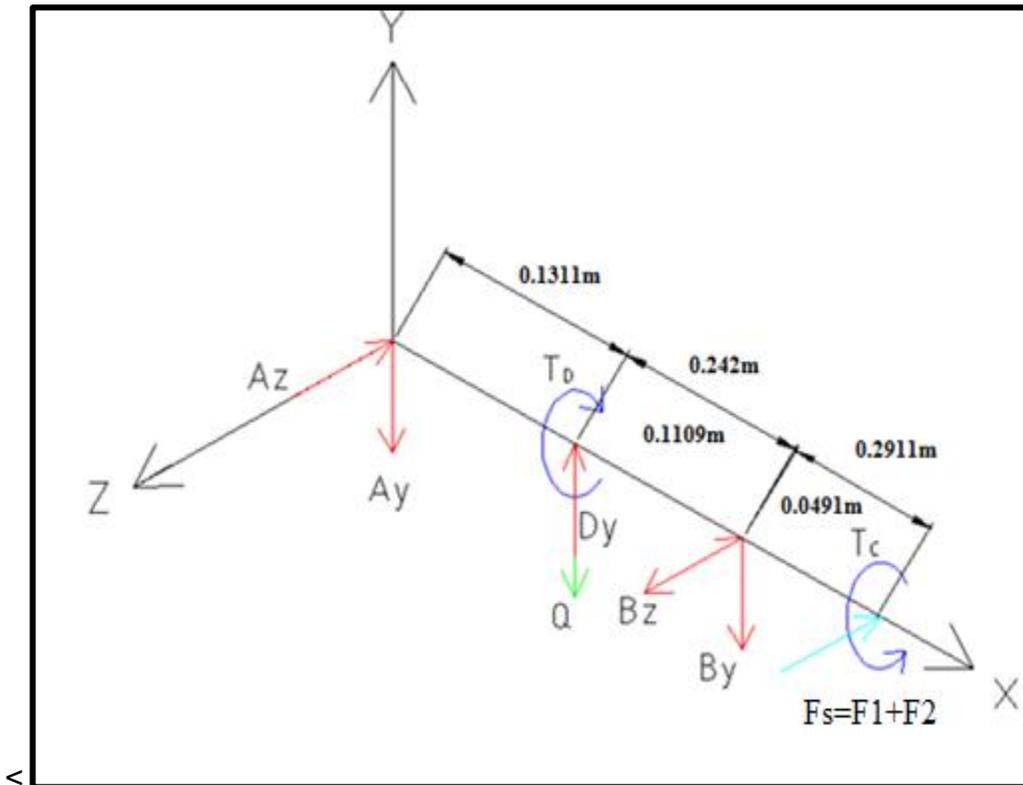


Figura 6.2 Diagrama de cuerpo libre del eje del prototipo de la trituradora

Primero se determinará el torque transmitido a partir de la potencia y la velocidad angular dada usando la siguiente ecuación.

$$P = T_c \cdot \omega \dots \dots \dots \text{ec (6.3)}$$

Donde:

P = potencia (W)

T_c =Torque (N*m)

ω =velocidad angular (rad/s)

Como se recordará en la Tabla 6.1, ya que se calculó el torque que soportará el eje, lo cual tiene un resultado de:

$T_c = 33.523 \text{ Nm}$

Este torque existe sobre el eje y es de magnitud uniforme a lo largo de todo el eje.

Las fuerzas tangenciales que actúan sobre la polea se obtienen a partir del torque y el radio de la polea. La banda V tiene tensión en ambos lados, mientras la razón entre la fuerza F1 sobre el lado apretado y F2 sobre el lado flojo se toma usualmente como 5. La fuerza neta asociada con el torque impulsor es $F_n = F_1 - F_2$, pero la fuerza que flexiona el eje es $F_s = F_1 + F_2$. Combinando tales reacciones se tiene que $F_s = 1.5 F_n$ (Shigley, 2007).

$$F_n = \frac{T}{r} \dots \dots \dots \text{ec (6.4)}$$

Sustituyendo el torque de 33.523N*m y el radio de la polea $r = 8$ pulg, se obtiene la fuerza normal.

$$F_n = \frac{33.523 Nm}{0.2032 m} = 164.970 N$$

Como se mencionó la fuerza que flexiona al eje es 1.5 F_n , por lo tanto:

$$F_s = 1.5 * F_n = 247.460 N$$

Para calcular el peso Q se utiliza la ecuación 6.5, se obtiene el volumen de los rotores, las cuchillas, las cuñas, eje y se multiplica por la densidad del acero inoxidable t-304 ($d = 7800 \text{ Kg/m}^3$). Para obtener el volumen se utilizó el software NX 7.5, el cual calcula el volumen como se muestra en la Figura 6.3. Además se suma el peso de la polea de aluminio que es de 39.240 N.

$$Q = \text{Volumen} * \text{densidad} * g \dots \dots \dots \text{ec(6.5)}$$

$$Q = 0.00062512073 m^3 * \frac{7800 kg}{m^3} * \frac{9.81 m}{s^2} = 47.830 N$$

$$Q = 47.830 + 39.240 = 87.070 N$$

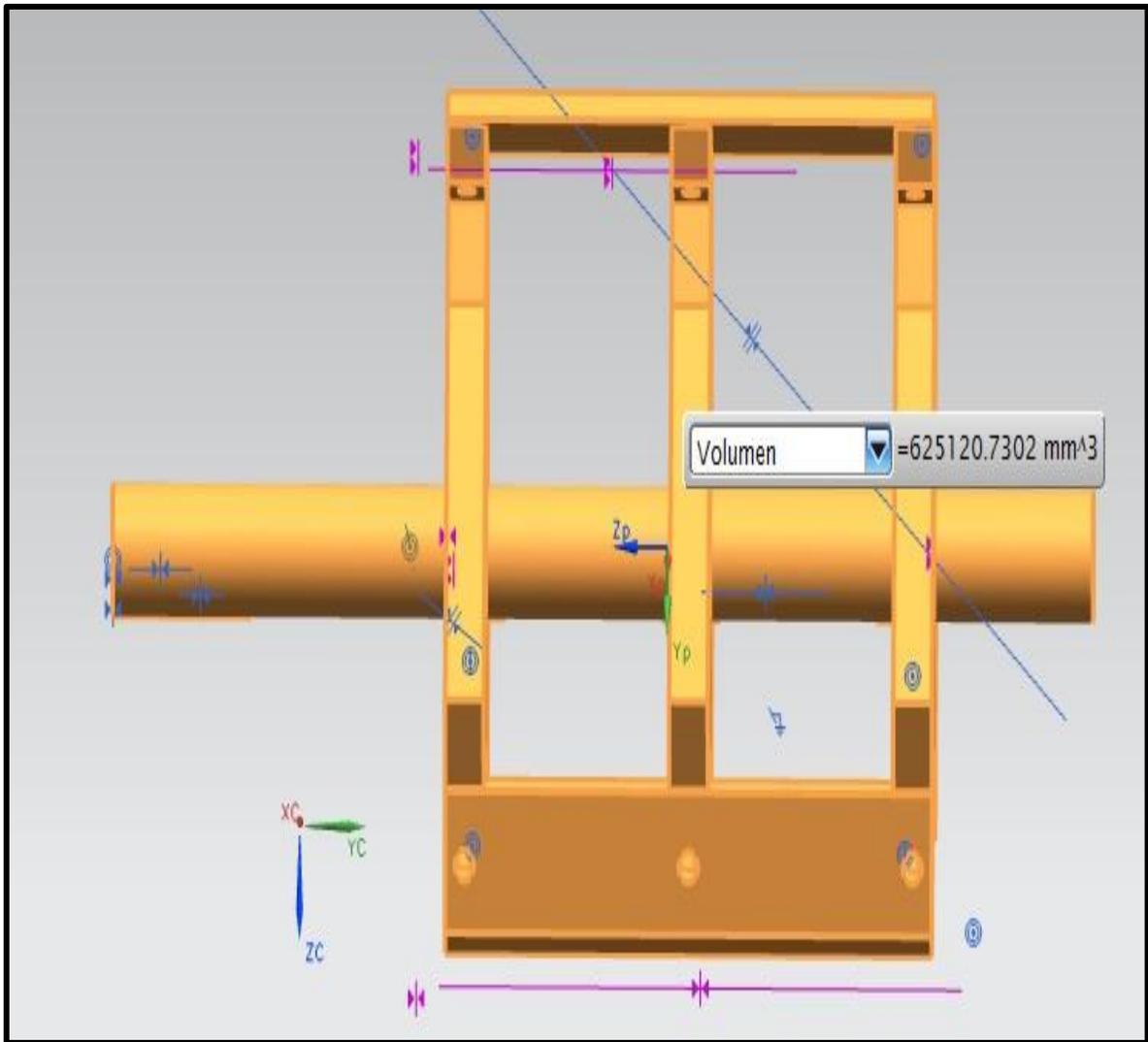


Figura 6.3 Volumen calculado de los ejes, rotores y cuchillas del prototipo de trituradora

Se considera que las fuerzas en la polea están concentradas en su centro. Se resolverán las fuerzas de reacción mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Sigma F_x=0, \Sigma F_y=0, \Sigma F_z=0, \Sigma M_y=0, \Sigma M_z=0.$$

$$\Sigma F_y=0 \dots \dots \dots \text{ec (6.6)}$$

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

$$A_y + B_y = 87.070N + 402.920N = 315.850N \dots \text{ec}(6.7)$$

$$\sum M_z = 0 \dots \text{ec (6.8)}$$

$$402.920N(0.1311m) - 87.070N(0.131m) - B_y(0.242m) = 0$$

$$B_y(0.242m) = 315.850N(0.131m)$$

$$B_y = 171.107N$$

Remplazando B_y en la ecuación 6.7

$$A_y = 315.850 - 171.107 = 144.746N$$

$$\sum M_y = 0 \dots \text{ec (6.9)}$$

$$-B_z(0.242m) + F_s(0.2911m) = 0$$

$$-B_z(0.242m) + 247.460N(0.2911m) = 0$$

$$B_z = 247.460N * \left(\frac{0.2911m}{0.242m} \right) = 297.668N$$

$$\sum F_z = 0 \dots \text{ec}(6.10)$$

$$-A_z + B_z - F_s = 0$$

$$-A_z + 297.668N - 247.460N = 0$$

$$A_z = 50.208N$$

En la Figura 6.4 se muestran las fuerzas cortantes que se producen por efecto del peso de los 3 rotores, cuchillas, poleas y fuerza aplicada sobre el eje del prototipo de la trituradora. También se muestran las reacciones que se tiene en cada chumacera (A_z y B_z). En la parte de abajo de la figura se observa el diagrama de momentos debido a la fuerzas que ejercidas en el eje, en el plano XY.

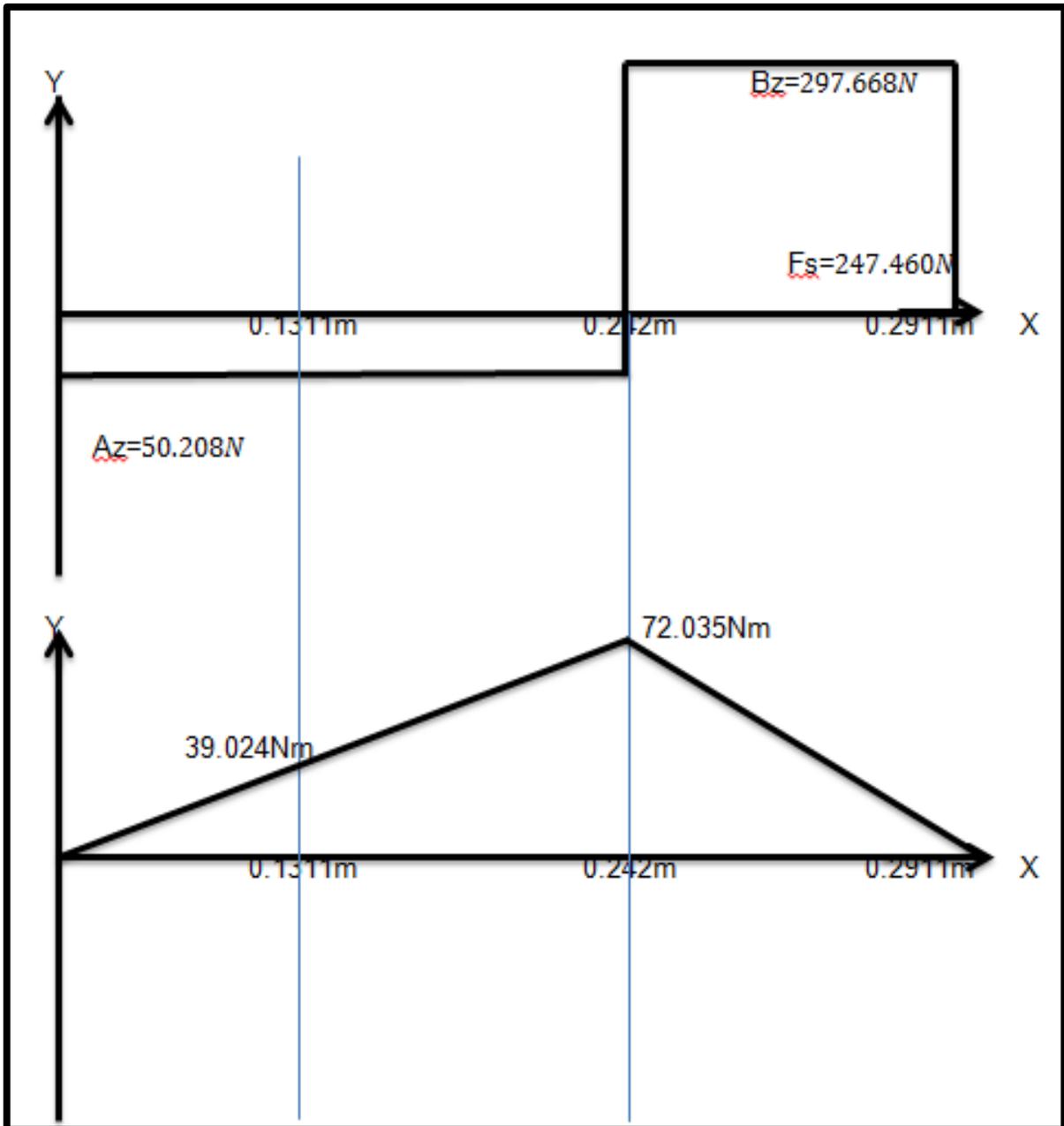


Figura 6.4 Fuerzas cortantes y momentos a los que estará sometido el eje del prototipo de la trituradora en el plano XY

En la Figura 6.5 se muestran las fuerzas cortantes que se producen por efecto del peso de los 3 rotores, cuchillas, poleas y fuerza aplicada sobre el eje del prototipo de la trituradora. También se muestran las reacciones que se tiene en cada chumacera (A_y y B_y). En la parte de abajo de la figura se observa el diagrama de momentos debido a la fuerzas que ejercidas en el eje, en el plano XY.

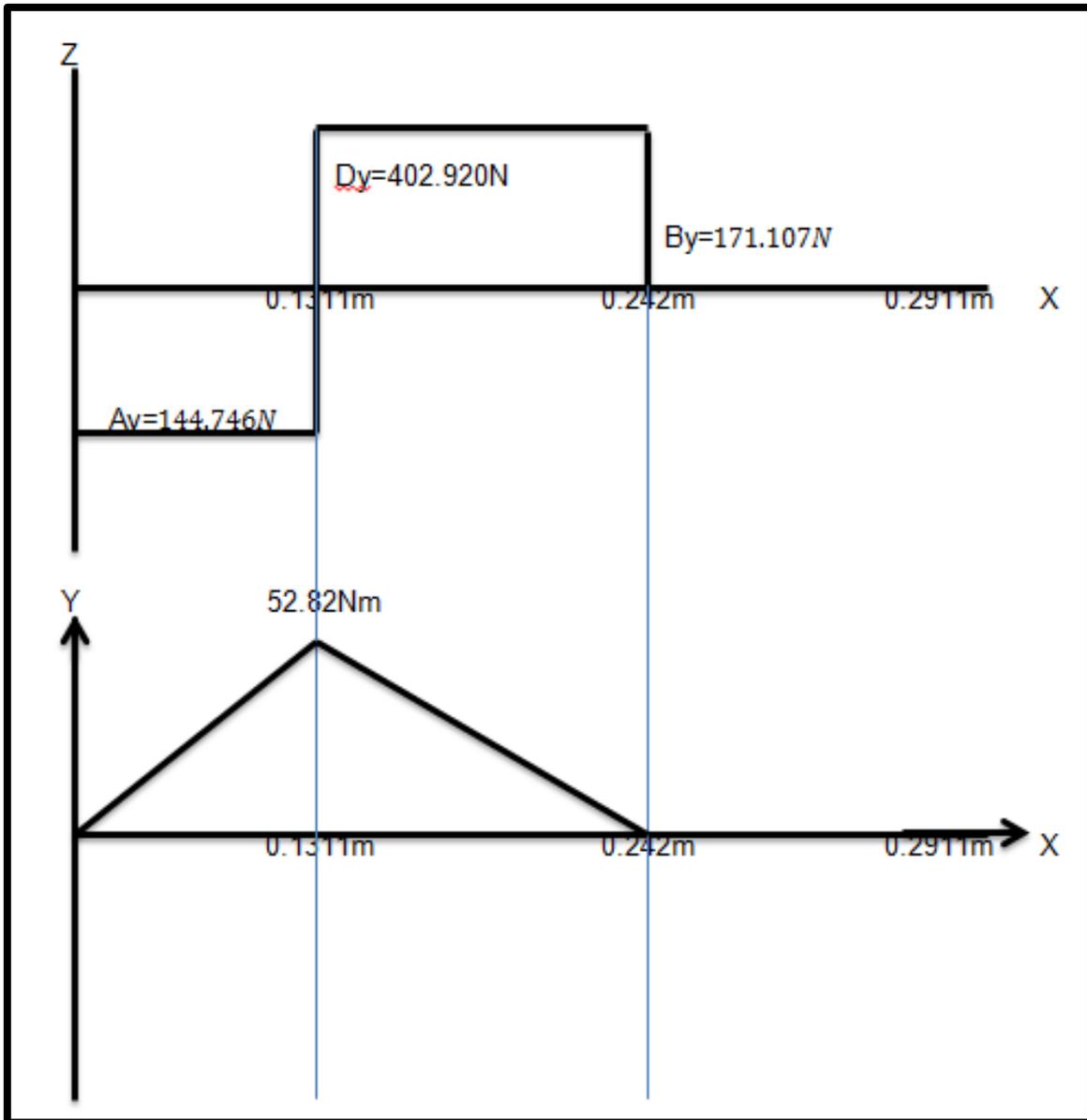


Figura 6.5 Fuerzas cortantes y momentos a los que estará sometido el eje del prototipo de la trituradora en el plano XZ

Ahora se determinará la sección crítica del eje, es en 0.242m, como se observa en las Figuras 6.4 y 6.5 ya que el momento máximo MB se aplica en dicha distancia y el resultado es:

$$MQ = 72.035N * m$$

El diseñador de ejes debe establecer un diámetro mínimo del eje para soportar adecuadamente las cargas que actúan sobre el eje o el factor de seguridad para un diseño específico. La fuerza que se ejerce sobre un eje en la dirección transversal (perpendicular al eje del eje) produce un esfuerzo máximo de acuerdo a la ecuación 6.11, donde se divide el momento producido (Mc) entre el primero momento polar de inercia (I) (Norton, 1995).

$$S_x = \frac{M_c}{I} \dots\dots\dots ec(6.11)$$

En forma similar, se produce un esfuerzo cortante máximo, se divide el torque aplicado (Tc) entre el segundo momento polar de inercia (J), de acuerdo a la ecuación 6.12.

$$t_{xy} = \frac{T_c}{J} \dots\dots\dots (6.12)$$

Dónde el radio c , se expresa como la mitad del diámetro del eje:

$$c = \frac{d}{2} \dots\dots\dots (6.13)$$

El primer momento polar de inercia para una sección circulara como la del eje, se obtiene de la forma siguiente

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \dots\dots\dots (6.14)$$

El segundo momento polar de inercia para una sección circulara como la del eje, se obtiene de la forma siguiente

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \dots\dots\dots (6.15)$$

Para una sección transversal circular. Sustituyendo la ecuación 6.13, 6.14 y 6.15 en las ecuaciones (6.11) y (6.12), se obtiene (Norton, 1995).

$$S_x = \frac{64M_c}{2\pi d^4} = \frac{32M_c}{\pi d^3} \dots\dots\dots ec(6.16)$$

$$T_{xy} = \frac{T_c/2}{\pi d^4/32} = \frac{16T_c}{\pi d^3} \dots\dots\dots ec(6.17)$$

Para el estado del plano de esfuerzo cuando Sy=0, los esfuerzos normales principales son de acuerdo a la ecuación 6.18:

$$S_1, S_2 = \frac{S_x}{2} \pm \left(\frac{S_x^2}{4} + T_{xy}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots ec(6.18)$$

Sustituyendo las ecuaciones 6.16 y 6.17 en la ecuación 6.18 resulta:

$$S_1, S_2 = \frac{16M}{\pi d^3} \pm \left(\left(\frac{16M}{\pi d^3} \right)^2 + \left(\frac{16T}{\pi d^3} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{16M}{\pi d^3} (M + (M^2 + T^2)^{1/2}) \dots \text{ec(6.19)}$$

La teoría de la energía de distorsión se caracteriza en la ecuación 6.20:

$$(S_1^2 + S_2^2 - S_1 S_2)^{1/2} \geq \frac{S_y}{n_s} \dots \text{ec(6.20)}$$

Por lo tanto se sustituye la ecuación 6.19 en la ecuación 6.20.

$$\frac{16}{\pi d^3} \left((4M^2 + 3T^2)^{1/2} \right) \geq \frac{S_y}{n_s} \dots (6.21)$$

Ahora se despeja el diámetro (d), para obtener la ecuación de diseño 6.22.

$$d = \left(\frac{32 n_s}{\pi S_y} \left((M^2 + 3/4 T^2)^{1/2} \right) \right)^{1/3} \dots (6.22)$$

Se procede a sustituir los datos anteriormente calculados en la ecuación 6.22, que son el momento máximo $M=72.035\text{Nm}$, el torque aplicado $T_c=33.523\text{Nm}$, el esfuerzo de cedencia del acero inoxidable 304 $S_y=510\text{Mpa}$ y un factor de seguridad de $n_s= 2$

$$d = \left(\frac{32 * 2}{\pi 510\text{Mpa}} \left(\left(72.035^2 + \frac{3}{4} * 33.523^2 \right)^{1/2} \right) \right)^{1/3}$$

$$d = \left(\frac{32 * 2}{\pi 510\text{Mpa}} \left(\left(5189.04 + \frac{3}{4} * 1123.792 \right)^{1/2} \right) \right)^{1/3}$$

$$d = \left(\frac{32 * 2}{\pi 510\text{Mpa}} (77.6652) \right)^{1/3}$$

$$d = 0.014590m = 14.590mm$$

La teoría del esfuerzo cortante máximo, predice la falla para un estado de esfuerzo biaxial $s_3=0$ por lo tanto la ecuación 6.23 caracteriza la teoría del esfuerzo cortante máximo.

$$|S_1 - S_2| \geq \frac{S_y}{n_s} \dots \text{ec(6.23)}$$

Se sustituye la ecuación 6.19 en la ecuación 6.23.

$$\frac{32}{\pi d^3} \left((M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right) \geq \frac{S_y}{n_s} \dots \text{ec (6.24)}$$

Despejando d se obtiene la ecuación de diseño 6.25.

$$d = \left(\frac{32 n_s}{\pi S_y} \left((M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right) \right)^{\frac{1}{3}} \dots \text{ec(6.25)}$$

Se procede a sustituir los datos anteriormente calculados en la ecuación 6.25, que son el momento máximo $M=72.035\text{Nm}$, el torque aplicado $T_c=33.523\text{Nm}$, el esfuerzo de cedencia del acero inoxidable 304 $S_y=510\text{Mpa}$ y un factor de seguridad de $n_s= 2$

$$d = \left(\frac{32 * 2}{\pi 510\text{Mpa}} \left((72.035^2 + 33.523^2)^{\frac{1}{2}} \right) \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left(\frac{32 * 2}{\pi 510\text{Mpa}} \left((5189.04 + 1123.792)^{\frac{1}{2}} \right) \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.014702\text{m} = 14.702\text{mm}$$

Por cuestiones de diseño se decidió hacer el diámetro del eje de una pulgada, por lo que el factor de seguridad se puede obtener a partir de la ecuación (6.24)

$$\frac{32}{\pi d^3} \left((M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right) \geq \frac{S_y}{n_s}$$

Despejando n_s se obtiene la ecuación de diseño 6.26

$$n_s = \frac{S_y}{\frac{32}{\pi d^3} \left((M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right)} \dots \text{ec(6.26)}$$

Sustituyendo el momento máximo $M=72.035\text{Nm}$, el torque aplicado $T_c=33.523\text{Nm}$, el esfuerzo de cedencia del acero inoxidable 304 $S_y=510\text{Mpa}$ y un diámetro $d=0.0254\text{m}$ en la ecuación de diseño 6.26, se obtiene el factor de seguridad.

$$n_s = \frac{510\text{Mpa}}{\frac{32}{\pi 0.0254^3} \left((72.035^2 + 33.523^2)^{\frac{1}{2}} \right)}$$

$$n_s = 10.32$$

Es posible diseñar flechas de transmisión útiles que en toda su longitud no tengan modificaciones de diámetro de la sección, lo más común es que las flechas tengan

una diversidad de escalones donde cambia el diámetro, a fin de adaptarse a elementos sujetos como cojinetes, ruedas dentadas, engranes, poleas, etc. Los escalones o los hombros son necesarios para conseguir una ubicación axial, precisa y consistente de los elementos sujetos, así como para obtener el diámetro correcto y adecuado a piezas estándar como los cojinetes. El eje del prototipo de trituradora mantiene un diámetro constante a lo largo de toda su longitud por lo cual el factor de seguridad de 10.32 es aceptable.

Ahora se calcula el diámetro del eje con varios factores, con los cuales se tomara en cuenta el tipo de carga (C_{carga}) que se le aplica al eje, el tamaño ($C_{tamaño}$), el acabado de la pieza ($C_{superficie}$), la temperatura del trabajo ($C_{temperatura}$), la confiabilidad ($C_{confiabilidad}$) y la sensibilidad a muescas (q) por parte del eje.

Como la carga es a flexión y a torsión $C_{carga}=1$, de acuerdo a (Norton, 1995). Si la pieza es mayor a 0.3pulg de diámetro, es necesario aplicar un factor de tamaño de reducción de esfuerzos, para tomar en consideración el hecho de que piezas mayores fallan a menores esfuerzos, debido a una mayor probabilidad que el volumen más grande que bajo esfuerzo se presente un defecto. (Shigley y Mitchel, 1983) ofrecen unas expresiones sencillas:

Para $d < 0.3in$ $C_{tamaño}=1$ ec.(6.27)

Para $0.3in < d < 10in$ $C_{tamaño}=0.869d^{-0.097}$ ec. (6.28)

Para $8mm < d < 250mm$ $C_{tamaño}=1.189d^{-0.097}$ ec. (6.29)

Debido a que se definió el diámetro del eje de 1pulg se ocupará la ecuación 6.28:
 $C_{tamaño}=0.8691^{-0.097}=0.896$.

El eje se pule a espejo, a fin de eliminar imperfecciones superficiales que pudieran servir como concentradores de esfuerzos. Por lo general, es impráctico efectuar este tipo de terminado debido a su alto costo. Terminados más ásperos bajarán la resistencia a la fatiga debido a la introducción de concentraciones de esfuerzos. Para tomar en cuenta estas diferencias es necesario un factor superficial de reducción de resistencia $C_{superficie}$. (Juvinal, 1967) proporciona una gráfica (Figura 6.6) que sirve de alguna guía para seleccionar el factor superficial para algunos acabados comunes en acero. En la Figura 6.5 se puede observar que los entornos corrosivos reducen radicalmente la resistencia y que un buen acabado como pulido a espejo tiene mayor resistencia que un rectificado, maquinado, como sale de forja.

En el caso del eje prototipo de trituradora estará rectificado y su S_{ut} del acero inoxidable es de 630 Mpa lo que equivale a 91.372 kpsi, por lo que basándose en la Figura 6.5, tendrá un factor $C_{superficie}$ de 0.9. Por otro lado (Shigley y Mischke, 1989) proponen que se maneje una ecuación exponencial de la forma:

$$C_{superficie} = A(Sut)^b \dots\dots\dots ec(6.30)$$

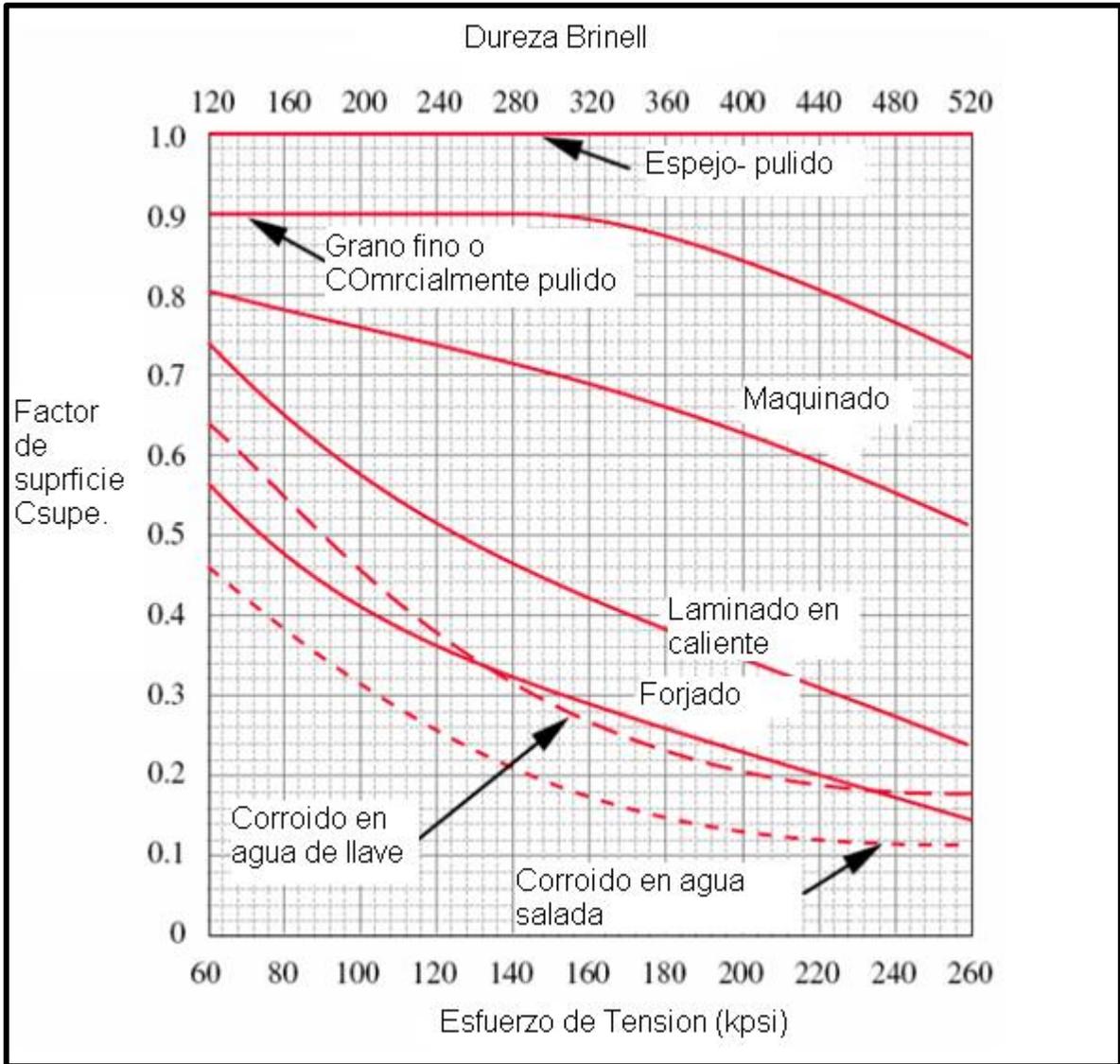


Figura 6.6 Factores superficiales para diversos acabados para el acero (Juvinal, 1967)

Para aproximar el factor superficial con Sut ya sea en kpsi o en Mpa. Los coeficientes A y exponentes b para diversos acabados se determinan a partir de la Tabla 6.2. Utilizando la fórmula (6.30), con $Sut=91.372$ kpsi y un acabado de rectificado:

$$C_{superficie} = 1.34(91.372)^{-0.085} = 0.913$$

Tabla 6.2 Coeficientes para la ecuación de factor superficial (Shigley y Mischke, 1989)

Acabado superficial	Mpa		Kpsi	
	A	B	A	B
Rectificado	1.58	-0.085	1.34	-0.085
Maquinado	4.51	-0.265	2.70	-0.265
Rolado en caliente	57.70	-0.718	14.40	-0.718
Forjado	272.00	-0.995	39.90	-0.995

Ahora para definir el factor de temperatura, se han propuesto varias fórmulas aproximadas con el objeto de tomar en consideración la reducción en el límite de resistencia a la fatiga a temperaturas moderadamente altas. Se puede definir un factor de temperatura $C_{temperatura}$. (Shigley y Mitchell, 1983) sugieren la Tabla 6.3. Para trabajos a temperatura ambiente $C_{temperatura}=1$.

Tabla 6.3 Intervalos de temperaturas para determinar el factor Temperatura (Shigley y Mitchell, 1983)

Para $T < 450c$	$C_{temperatura}=1$
Para $450c < T < 550c$	$C_{temperatura}=1-0.0058(T-450)$
Para $840F < T < 1020F$	$C_{temperatura}=1-0.0032(T-840)$

Una gran parte de los datos de resistencia reportados son valores medios. Hay considerable dispersión en múltiples ensayos de un mismo material bajo las mismas condiciones de prueba. (Norton, 1995) informa que las desviaciones estándar de la resistencia a la fatiga de los aceros rara vez exceden del 8% sobre sus valores medios. La Tabla 6.4 muestra los factores de confiabilidad para una desviación estándar supuesta del 8%. Obsérvese que una confiabilidad del 50% tiene un factor de 1 y el factor se reduce conforme se elige una confiabilidad superior. Se decide tener una confiabilidad del 90% por lo tanto $C_{confiabilidad}=0.897$. Una vez que se obtuvieron todos los factores de corrección, se puede calcular el límite a la resistencia corregida Se' .

Tabla 6.4 Factores de confiabilidad para la desviación estándar del 8% (Norton, 1995)

CONFIABILIDAD %	$C_{confiabilidad}$
50	1.000
90	0.897
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659

Primero se recordará que se ocupa acero inoxidable 304 con las siguientes propiedades:

Su= 630Mpa ; Sy= 510Mpa ; Se´=0.5Su= 315Mp

Se´ este valor se reducirá aplicando los factores antes mencionados de acuerdo a la ecuación 6.31

$Se=C_{carga} * C_{tamaño} * C_{superficie} * C_{temperatura} * C_{confiabilidad} * Se' \dots \dots \dots ec(6.31)$

Sustituyendo los datos calculados en la ecuación 6.31.

$Se= (1) (0.896) (0.913) (1) (0.897)315Mpa= 231.40Mpa$

Cada material tiene una diferente sensibilidad a las concentraciones de esfuerzos, que se conoce como *sensibilidad a las muescas q* del material. En general, mientras más dúctil sea el material, menos sensible será a muescas. La sensibilidad también depende del radio de la muesca (que es una medida de lo agudo de la muesca). Conforme los radios se acercan a cero, la sensibilidad *q* del material se reduce y también se acerca a cero. La sensibilidad *q* se puede definir a partir de la fórmula de (Kuhn y Hardrath, 1952), en función de la constante de Neuber *a* y del radio de la muesca *r*, ambos expresados en pulgadas:

$q = \frac{1}{1+\sqrt{a}/\sqrt{r}} \dots \dots \dots ec (6.32)$

En la Tabla 6.5 se muestra la constante de Neuber para determinado Sut. En el caso particular del eje del prototipo de trituradora que tiene un Sut=91.3Kpsi, la raíz cuadrada de la contante de Neuber correspondiente es de 0.071. El radio r de la muesca que tendrá el eje debido a que se diseña con tres cuñeros con un radio de 0.01 in. Ahora remplazando los datos en la ecuación 6.32 se obtiene.

$q = \frac{1}{1 + 0.070/\sqrt{0.01}} = 0.588$

Tabla 6.5 Constante de Neuber para aceros (Norton, 1995)

Sut(kpsi)	\sqrt{a} (\sqrt{in})
50	0.130
55	0.118
60	0.108
70	0.093
80	0.080
90	0.070
100	0.062

El factor geométrico de concentración de esfuerzos para un cuñero Kt se obtiene a partir de la Figura 6.6, donde se utiliza la relación que hay entre el diámetro del eje que es de 1 in y el radio r de 0.01 in. El valor que corresponde es $kt = 2.8$. El factor de concentración de esfuerzos a la fatiga se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$K_f = 1 + q(kt - 1) = 1 + 0.588(2.8 - 1) = 2.058 \dots \dots \dots \text{ec (6.33)}$$

Ahora se puede determinar si el diámetro del eje es el correcto, con un factor de seguridad $n_s = 2.5$, con $S_e = 315 \text{ Mpa}$, $S_y = 310 \text{ Mpa}$ y con la siguiente ecuación de diseño para determinar el diámetro de la flecha.

$$d = \left(\frac{32 n_s}{\pi} \left(\left((K_f * M / S_e)^2 + (k_f * T / S_y)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots \text{ec (6.34)}$$

Sustituyendo el momento máximo $M = 72.035 \text{ Nm}$, el torque aplicado $T_c = 33.523 \text{ Nm}$, $S_e = 231.40 \text{ Mpa}$, $S_y = 510 \text{ Mpa}$ y un factor de seguridad de 2.5 en la ecuación de diseño 6.34 se obtiene un diámetro.

$$d = \left(\frac{32 * 2.5}{\pi} \left(\left(\left(\left(2.058 * \frac{72.035}{231.4 * 10^6} \right)^2 + 3/4 \left(2.058 * \frac{33.523}{510 * 10^6} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$d = 0.02512 \text{ m} = 2.512 \text{ cm}$$

El valor del diámetro del eje determinado es de 2.512cm con un factor de seguridad de 2.5 y considerando los factores de corrección por acabado, tipo de carga, tamaño, temperatura de trabajo, confiabilidad, geometría, y sensibilidad del material a las muescas. Por lo que asegura que el diámetro de 1 pulg del eje del prototipo de trituradora elegido es seguro en condiciones normales de trabajo.

6.2.1 Diseño de cuñas

Ahora se procede a calcular los esfuerzos en la cuña, la cual está hecha de coll-rol que es un acero 1010, $S_{ut}=365.462$ Mpa y $S_e=157.812$ Mpa que tiene un esfuerzo de fluencia menor a la de acero inoxidable 304, en la Tabla 6.6 se muestran un rango de tamaños de cuñas y prisioneros de acuerdo al tamaño del diámetro del eje, como el diámetro del eje será de 1 pulgada, las dimensiones de la cuña serán de $\frac{1}{4}*\frac{1}{4}$ pulg.

Tabla 6.6 Tamaños estándar de cuñas y prisioneros (Norton, 1995)

Diámetro de flechas (pulg)	Ancho nominal de la cuña (pulg)	Diámetro del tornillo prisionero (pulg)
0.312<d<0.437	0.093	#10
0.437<d<0.562	0.125	#10
0.562<d<0.875	0.187	0.250
0.875<d<1.250	0.250	0.312
1.250<d<1.375	0.312	0.375
1.375<d<1.750	0.500	0.375
1.750<d<2.250	0.625	0.500

En las cuñas hay dos modos de falla, al corte y por apoyo. La falla al corte ocurre cuando la cuña es degollada en su ancho en el contacto entra la flecha y masa. La falla por apoyo ocurre por apretar cualquiera de los lados a compresión. Falla por corte, es el esfuerzo promedio debido a corte directo, donde F es la fuerza aplicada y A_{corte} es el área de corte que se está degollando. En este caso A_{corte} es el producto del ancho por la longitud de la cuña. Se puede determinar la fuerza F aplicada sobre la cuña a partir del cociente del par de torsión de la flecha y del radio de esta. Si el par de torsión es constante todo el tiempo así será la fuerza y puede determinarse el factor de seguridad comparando el esfuerzo cortante con el límite de fluencia elástico al corte del material.

$$T_{xy} = \frac{F}{A_{corte}} \dots \dots \dots \text{ec (6.35)}$$

La falla por aplastamiento se define como:

$$S_x = \frac{F}{A_{apoyo}} \dots \dots \dots \text{ec (6.36)}$$

Donde F es la fuerza aplicada y el área de apoyo es el área de contacto entre el costado de la cuña y la flecha. En caso de la cuña cuadrada, será igual a su semialtura multiplicada por su longitud. El eje del prototipo de trituradora hay tres localizaciones con cuñas. El diámetro es el mismo para las tres $d=0.0254$ m, las dimensiones de la cuña será $\frac{1}{4}*\frac{1}{4}$ pulg, la longitud de las cuñas serán de $\frac{3}{4}$ in. Ahora se determina la fuerza sobre la cuña, a partir del componente del par de torsión dividido por el radio del eje.

$$F = \frac{T}{r} = \frac{33.523}{0.0127} = 2639.606N \dots \text{ec (6.37)}$$

Ahora como la longitud de la cuña es de 3/4 in, se calcula el esfuerzo cortante sustituyendo la fuerza F=2639.606N y el área de corte, en la ecuación 6.35.

$$T_{xy} = \frac{Fa}{A_{corte}} = \frac{2639.606N}{0.01905m * 0.00635m} = 21.820Mpa$$

Para determinar el factor de seguridad al corte de la cuña, se calculó los esfuerzos de Von Mises equivalentes mediante la ecuación 6.38.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3T_{xy}^2} \dots \text{ec (6.38)}$$

Sustituyendo $T_{xy}=21.820Mpa$ en la ecuación 6.38.

$$= \sqrt{3(21.820^2)} = 37.793Mpa$$

Se aplica la ecuación 6.39 para obtener el factor de seguridad a la fatiga por esfuerzo cortante (Norton, 1995).

$$Ns = \frac{1}{\frac{\sigma_1}{s_e} + \frac{\sigma_2}{s_{ut}}} \dots \text{ec (6.39)}$$

Sustituyendo los esfuerzos principales y $S_{ut}=365.462 Mpa$ y $S_e=157.812 Mpa$ en la ecuación 6.39 se obtiene el factor de seguridad.

$$Ns = \frac{1}{\frac{37.793}{157.812} + \frac{37.793}{365.462}} = 2.91$$

El esfuerzo de apoyo sobre la cuña es a compresión y puede, por lo tanto, considerarse como carga estática. Se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\sigma_{max} = \frac{F_m + F_a}{A_{apoyo}} \dots \text{ec (6.40)}$$

Sustituyendo la fuerza de compresión y el área apoyo en la ecuación 6.40.

$$\sigma_{max} = \frac{2639.606N + 2639.606N}{0.003175m * 0.01905m} = 87.283Mpa$$

El factor de seguridad para falla por apoyo se calcula a partir de:

$$N_s = \frac{S_y}{\sigma_{\max}} \dots \dots \dots \text{ec (6.41)}$$

Sustituyendo el $S_y=303\text{Mpa}$ y el esfuerzo máximo $\sigma_{\max} = 87.823\text{Mpa}$ en 6.41

$$N_s = \frac{303\text{Mpa}}{87.283\text{Mpa}} = 3.47$$

Con el factor de seguridad de corte y por apoyo concluimos que las cuñas no fallaran por el esfuerzo a corte y por apoyo a las que son sometidas por la operación normal de la máquina. Por lo tanto se tendrá un buen diseño de cuñas.

6.2.2 Rotores

El esfuerzo que se sufren los rotores son iguales a los que reciben las cuñas ya son las piezas que transmiten la potencia a las cuchillas, El área es que recibe el esfuerzo se puede observar en la Figura 6.7, la cual tiene las siguientes dimensiones $0.003175\text{m} \times 0.01270\text{m} = 4.03225 \times 10^{-5} \text{m}^2$. Ahora se aplica la ecuación (6.39) para obtener el factor de seguridad a la fatiga por esfuerzo cortante (Norton, 1995). El factor de seguridad es mayor que el de cuña, por lo que se asegura que el primer elemento en fallar es la cuña, lo cual es muy deseable, ya que es más fácil de reemplazar que el rotor.

Sustituyendo los esfuerzos principales, $S_e=231.40\text{Mpa}$ y $S_{ut}=630\text{Mpa}$ en la ecuación 6.39 se obtiene:

$$N_s = \frac{1}{\frac{\sigma_1}{S_e} + \frac{\sigma_2}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{37.793}{231.4} + \frac{37.793}{630}} = 4.47$$

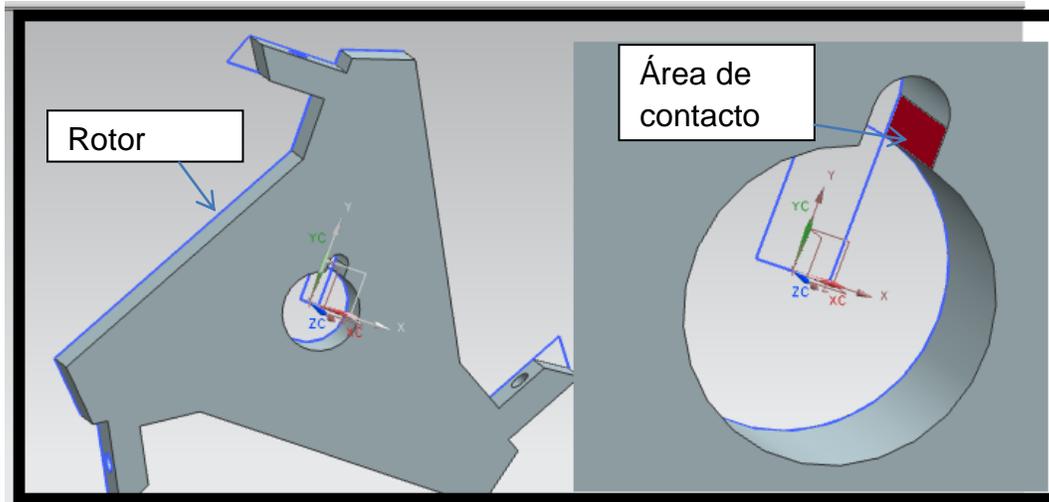


Figura 6.7 Plano en 3D de la sección del rotor que recibe el esfuerzo

6.2.3 Velocidad crítica de las flechas

Todos los ejes, aún sin la presencia de cargas externas, se deforman durante la rotación. La magnitud de la deformación depende de la rigidez del eje y de sus soportes, de la masa total del eje y de las partes que se le adicionan, del desequilibrio de la masa con respecto al eje de rotación. La frecuencia natural o de resonancia de un sistema es aquella frecuencia que tiene una tendencia o facilidad para vibrar. Todo sistema posee una o varias frecuencias naturales de forma que al ser excitadas se producirá un aumento importante de vibración. Debe evitarse la excitación del eje a su frecuencia natural o cerca de ellas, ya que las deflexiones resultantes a menudo causaran esfuerzos lo suficientemente grandes para que las piezas rápidamente fallen.

El método de Rayleigh, trata de un método de energía que da resultados que se acercan dentro de un ligero porcentaje a la velocidad crítica real. Iguala las energías potenciales y cinéticas en el sistema. La energía potencial aparece bajo forma de energía de deformación en la flecha flexionada y es máximo en la deflexión mayor. La energía cinética es máxima cuando la flecha en vibración pasa a través de una posición sin flexionar a máxima velocidad.

El método iguala ambas energías, despejando la velocidad crítica da como resultado la siguiente ecuación.

$$W_n = \sqrt{g \frac{m\delta}{m\delta^2}} \dots \dots \dots \text{ec (6.42)}$$

Ahora se calcula de deflexión en el sistema eje del prototipo de trituradora, para lo cual utilizamos el software NX 7.5 para realizar una simulación avanzada, donde definimos el tipo de material, en este caso es acero inoxidable 304, para realizar la

simulación avanzada o de elemento finito, se procede a mallar la pieza de trabajo, se elige una malla tetraédrica con un tamaño de 5 mm por elemento como se puede apreciar en la Figura 6.8

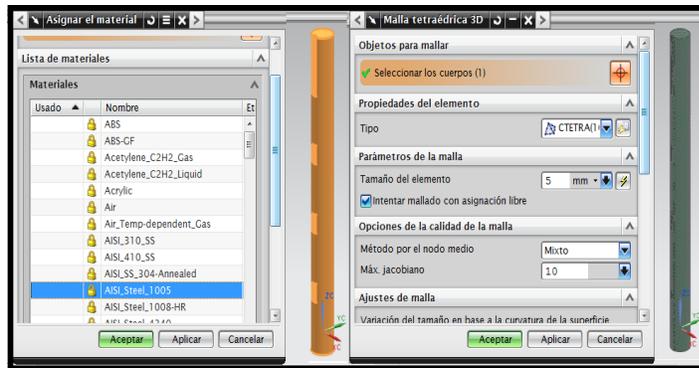


Figura 6.8 Selección del material y de tipo de mallado del eje de la trituradora

El paso siguiente fue colocar las restricciones y las fuerzas a las que es sometido el eje. Las restricciones en este caso son las chumaceras permitiendo solamente rotación del eje, impidiendo que se realice traslación axial. La fuerza a la que se somete en este caso son los pesos de los tres rotores de acero inoxidable más el peso de la polea de 16pulg. En la Figura 6.9 se puede observar la deflexión que sufre el eje, la cual es de $1.674 \times 10^{-6}m$.

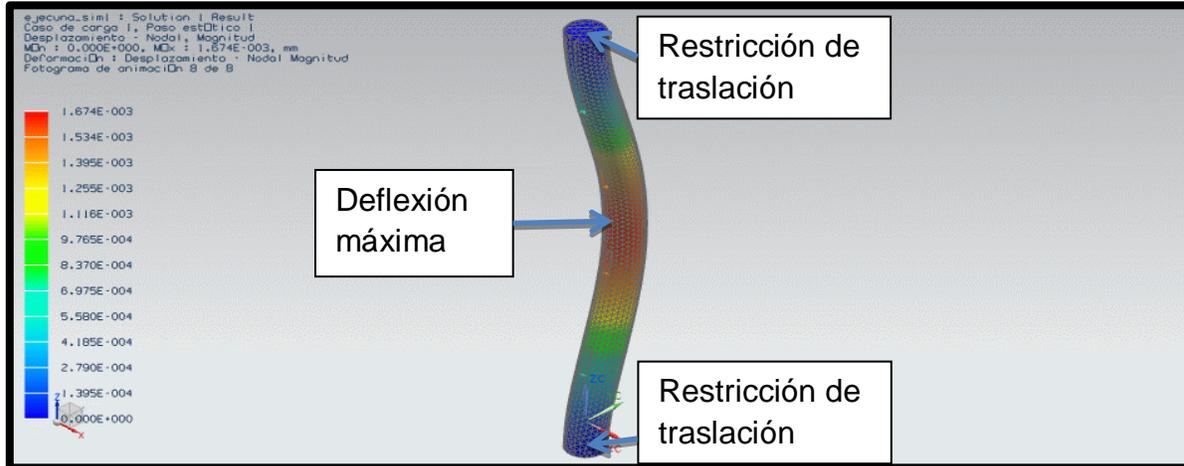


Figura 6.9 Análisis de la deflexión máxima aplicada en el eje de la trituradora

Ahora se puede calcular la velocidad crítica, sabiendo que la masa de los rotores es de 8.87kg. La velocidad crítica es de 23116rpm la cual permite trabajar con un amplio margen de seguridad, ya que la velocidad de operación es de 425rpm. Por lo tanto, se puede asegurar que el eje no vibrará de tal manera que se alcancen deflexiones grandes que permitan la rápida falla de las piezas.

Sustituyendo la masa de los rotores, la deflexión máxima en la ecuación 6.42 se obtiene:

$$Wn = \sqrt{\frac{9.81m}{s^2 \frac{8.87kg * 1.674 * 10^{-6}m}{8.87kg * (1.674 * 10^{-6}m)^2}}} = 2420.78 \frac{rad}{s} = \frac{30}{\pi} * 2420.78 = 23116rpm$$

6.2.4 Selección de rodamientos

Para la sujeción de los valeros en la superficie de la mesa de trabajo, se ocupan dos chumaceras. Se escoge el cojinete #6305 con un diámetro interior de 25.4mm, su factor de clasificación de carga es C=3800Lb. La clasificación de carga estática Co=2550. La carga estática aplicada es de 87.070N=19.59lb obviamente queda muy por debajo de la clasificación estática del cojinete. La chumacera escogida para el prototipo de trituradora se puede observar en la Figura 6.10. La vida proyectada se calcula con la siguiente formula.

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \dots\dots\dots ec (6.43)$$

Sustituyendo en la ecuación 6.43, la clasificación de carga C=3800Lb y la carga aplicada P=19.59 Lb se obtiene:

$$L = \left(\frac{3800}{19.59}\right)^3 = 7.2687 * 10^6 \text{revoluciones}$$



Figura 6.10 Chumacera del prototipo de la trituradora

La vida proyectada de los baleros es más de 7 millones de revoluciones, lo cual es bastante alta, ya que se contempla una operación máxima por día de 30 min, y se tiene una velocidad de operación de 425 rpm. En consecuencia se tiene: $30min * 425rpm = 12750 \text{revoluciones por día}$, Se contempla una operación de 5 días por semana, además se contempla que un año se tienen 52 semanas: $12750rpm * 5días/semana * 52semanas = 3.315 * 10^6$ revoluciones por años de trabajo, en conclusión los valeros tiene una vida optima útil de más de 2 años.

6.2.5 Diseño de cuchillas

Para el análisis de las cuchillas móviles, se contempló un caso extremo donde se coloca una fuerza distribuida a lo largo de la línea de corte de la cuchilla, y tres

restricciones fijas en los orificios donde se colocaran los tornillos como puede apreciar en la Figura 6.11. Se pueden observar las deformaciones de manera exagerada, y un esfuerzo máximo de 29.32 Mpa el cual está localizado en la sección que corresponde a los tornillos, una deformación máxima de 0.005mm ubicada en la línea de corte (ver figura 6.12). Para las cuchillas fijas se espera resultados similares ya que la geometría es la misma que las cuchillas fijas.

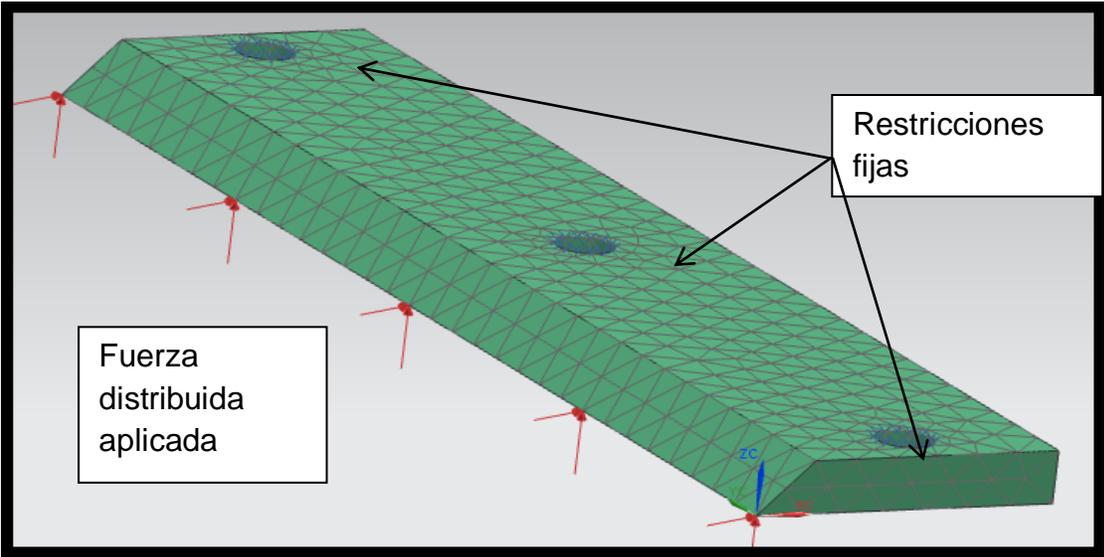


Figura 6.11 Diagrama en 3D especificando las restricciones fijas y fuerza aplicada a la cuchilla de corte

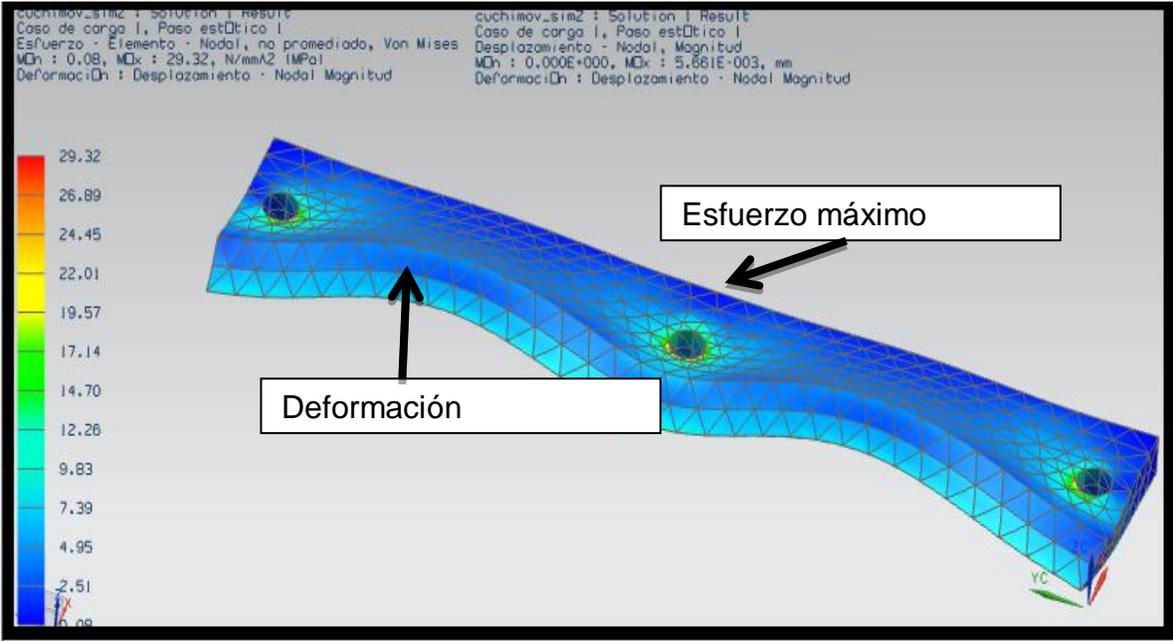


Figura 6.12 Diagrama en 3D del esfuerzo y la deformación máxima aplicada a una de las cuchillas del rotor

6.2.6 Costo del prototipo

Finalmente se han analizado las partes más importantes del prototipo de trituradora, se puede asegurar que dichas partes no fallarán en un funcionamiento normal de la máquina. Por consiguiente se hace un estimado del costo del material necesario para construir dicho prototipo. En la Tabla 6.7 se muestra el costo de las placas que son principales para la construcción del prototipo así como también sus medidas. Para los componentes que también debe llevar la trituradora como tornillos, poleas y bandas que se deberán adquirir comercialmente se hizo un estimado (Tabla 6.8).

Tabla 6.7 Materiales utilizados para la construcción del prototipo de la trituradora

Material	Medida cm	Costo\$ pesos MX
Placa de acero inoxidable T-304 espesor ¼ pulg	50cm*50cm	961.64
Placa de acero inoxidable T-304 espesor ½ pulg	20cm*60cm	994.12
Barra maciza 1pulg acero inoxidable T-304	35cm	139.20
Placa de acero inoxidable T-304 espesor ¼ pulg	20cm*20cm	200.00
Placa de acero inoxidable T-304 espesor 1/32pulg	20cm*60cm	120.00
	Total	2,414.96

Tabla 6.8 Materiales que se adquirieron comercialmente

Material	Cantidad	Costo\$
Tornillo de acero 3/8 Ø	8 3 1/2pulg	24.00
Tornillo de acero 5/16 Ø	4 3 1/2pulg	12.00
Tornillo de acero 3/8 Ø	8 1 1/2pulg	40.00
Tornillo de acero ½ Ø	4 3 .00pulg	32.00
Polea de aluminio 16 Ø	1	645.00
Polea de aluminio 3 Ø	1	110.00
Chumaceras del prototipo	2	320.00
Baleros del prototipo	2	160.00
Banda de caucho del prototipo	2	180.00
Bisagra para la tolva	2	16.00
Total	32 piezas	1539.00

Una vez teniendo los componentes principales se puede realizar la manufactura del prototipo que será necesario, usando torno, fresadora y soldadura , el diseño

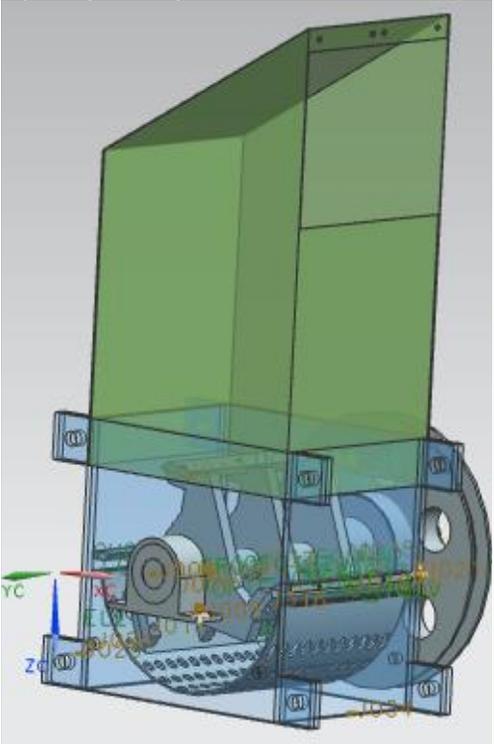
está limitado a que se puede realizar el trabajo dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería, por consecuencia es un ahorro de costos en lo que se refiera al prototipo de la trituradora. Con excepción de que los rotores de dicho prototipo se deberán realizar con una cortadora por chorro de agua, dentro de las instalaciones de Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de Ciudad Universitaria en la sección desarrollo de prototipos. En la Tabla 6.9 se aprecia las características de un molino de la marca restch.

Tabla 6.9 Especificaciones del Molino triturador SM100

Aplicación	reducción de tamaño	
Costo	\$105 731.00 dólares	
Tipo de material	blando, semiduro, elástico, fibroso	
Principio de molienda	cizalla, corte	
Granulometría final*	0.25 - 20 mm	
Velocidad a 50 Hz (60 Hz)	1,500 min ⁻¹	a) Molino triturado SM100
Tipos de rotor	Rotor de 6 discos / rotor de corte paralelo	
Tipos de tolvas	universal, material alargado	
Material de las herramientas de molienda	acero inoxidable, acero para molienda libre de metales pesados, carburo de tungsteno	
Motor	motor trifásico	
Potencia motriz	1,5 kW	
Conexión eléctrica	voltajes diferentes	
Peso neto	73 kg sin tolva, rotor y soporte	

Una vez manufacturado el prototipo y funcionando se puede hacer estimaciones de las características que va realizar como: tipo de material a triturar, velocidad de trabajo campos de aplicación et casi como también el diseño del modelo final y muy importante se menciona el costo estimado para el modelo presente en la tabla el cual está muy por debajo del costo que se tiene en comparación con la marca Restch (Tabla 6.10).

Tabla 6.10 Especificaciones del prototipo de la trituradora

Aplicación	reducción de tamaño	<p>A) de prototipo de trituradora.</p> 
Costo	\$6921.96 pesos MX	
Campos de aplicación	agricultura, alimentos, reciclaje plásticos	
Tipo de material	blando, semiduro,	
Principio de molienda	cizalla, corte	
Granulometría inicial	< 100 x 100 mm	
Granulometría final*	10 - 35 mm	
Velocidad a (60 Hz)	425 rpm	
Diámetro del rotor	129.5 mm	
Tipos de rotor	3 rotores , 3 chillas acopladas	
Material	acero inoxidable 304	
Motor	motor bifásico	
Potencia motriz	1.5 Hp	
A*H*F	500 x 1500 x 1400 mm	
Peso Neto	60 Kg	

6.3 Resultados de optimización

En un día normal de trabajo en la planta se recolecta desperdicio de comida aproximadamente de 40 kg, en especial desperdicio de fruta del restaurante Cibarium, los resultados que se esperan con el prototipo en comparación con el trabajo sin el uso del prototipo del triturador se muestran, en Tabla 6.9 donde se puede observar el proceso de operación de la planta, con su tiempo estimado con el triturador y sin el triturador. En la Tabla 6.12 se muestra un resumen general de las partes y sus especificaciones del prototipo del triturador.

Tabla 6.11 Comparación de la operación de la planta, con y sin el prototipo de la trituradora

Proceso con un carga de 40kg	Sin prototipo de trituradora (min)	# de personas	Con prototipo de trituradora (min)	# de personas
Recolección de materia orgánica	5	3	10	1
Selección de materia orgánica	20	3	30	1
Pretatamiento (picado)	150	3	25	1
Triturado inskerator	50	1	15	1
Agregación de enzimas	2	1	2	1
Medición de ph	2	1	2	1
mezclado	60	1	60	1
Recirculación	60	1	60	1
Total	349min=5.81horas		204min=3.4horas	

Tabla 6.12 Especificaciones finales del prototipo del triturador

Parte	Especificaciones
Estructura	Estructura de madera adaptada al diseño del triturador
Rotores	3 rotores discontinuos de acero inoxidable
Cuchillas	5 cuchillas de acero inoxidable con un chaflán de 45°
Carcasa	Carcasa cuadrada de acero inoxidable con pestañas soldadas para su unión
Motor	Motor de 1.5 hp a 1700 rpm
Eje	Eje de 1 pulg por 32cm de largo
Cuñas	Cuñas cuadradas de $\frac{1}{4} * \frac{3}{4}$

Con este prototipo de triturador se pretende igualar los beneficios de la maquina Restch con una inversión mucho menor. El tiempo de pre triturado se reduce, así como el tiempo de operación de la planta y la mano de obra de 3 estudiantes a solo uno, de acuerdo a las pruebas realizadas anteriormente.

Capítulo 7 Conclusiones

Se realizó de manera completa el diseño del prototipo de la trituradora mediante la técnica QFD, se completaron todas las etapas de diseño, al final se obtuvo un producto satisfactorio faltando únicamente su manufactura para poder empezar a trabajar con él, se espera que con este diseño y la posterior manufactura se puede remplazar a un triturador comercial con un costo relativamente bajo de acuerdo al análisis realizado. Un factor muy importante a tomar en cuenta fue la limitación del presupuesto. Aunque no se pueda evitar que las cosas salgan diferente a lo planeado, ya que el material para los rotores, carcasa y cuchillas, es acero inoxidable de un espesor grande lo que dificulta su maquinado, y principalmente eleva el presupuesto inicial. Sin embargo el diseño mencionado en este trabajo se limito principalmente a que se puede manufacturar dentro de las instalaciones de la facultad de ingeniería y también en el Centro de Ciencias Aplicadas Y Desarrollo Tecnológico (CCADET), lo cual reduce en un gran rango el costo final de dicho prototipo manufacturado en comparación con trituradores que se encuentran en el mercado.

Por otro lado la eficiencia de trituración del prototipo es la que se espera, ya que el producto final tiene las dimensiones deseadas, además, con este diseño el tiempo de trabajo de triturado será relativamente corto, se estima que cuando este sea manufacturado, reduzca el trabajo de picado a menos de la mitad de tiempo y también disminuya el número de personas en hacer el tratamiento ya que sin el triturador el tiempo es elevado y se necesitan de 3 personas. Finalmente se espera que con el prototipo finalizado el trabajo sea más eficiente y rápido.

Además de que al proceso de trituración de la planta se trabaja con 40 a 60 kg de residuos orgánicos diarios que para procesarlos son de 3 a 4 horas, con el triturador fácilmente se puede aumentar la carga de trabajo de la planta de biogás en un 50%. Se concluye que el diseño y la construcción del prototipo de trituradora sea más productivo en cuanto al costo de una trituradora de mayor capacidad de Insinkerator o de la marca Retsch, o cualquier otro prototipo que se encuentre en el mercado.

Anexo A

Se presentan los planos del prototipo del triturador de acuerdo a como se presentaron en las tablas de decisión del capítulo 4 generados a partir del programa NX 7.5 el cual tiene la marca siemens.

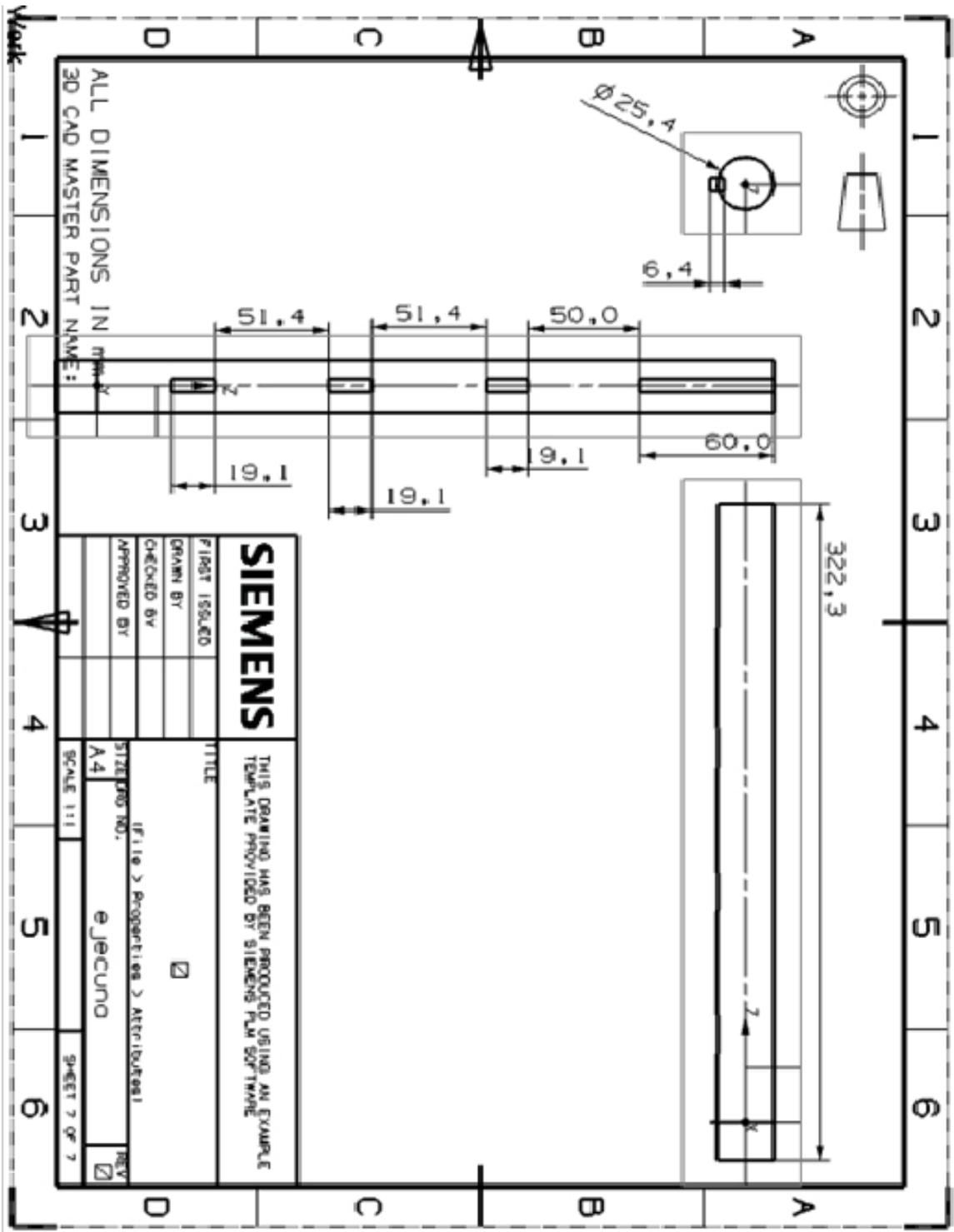


Figura A.1 Plano del eje del triturador

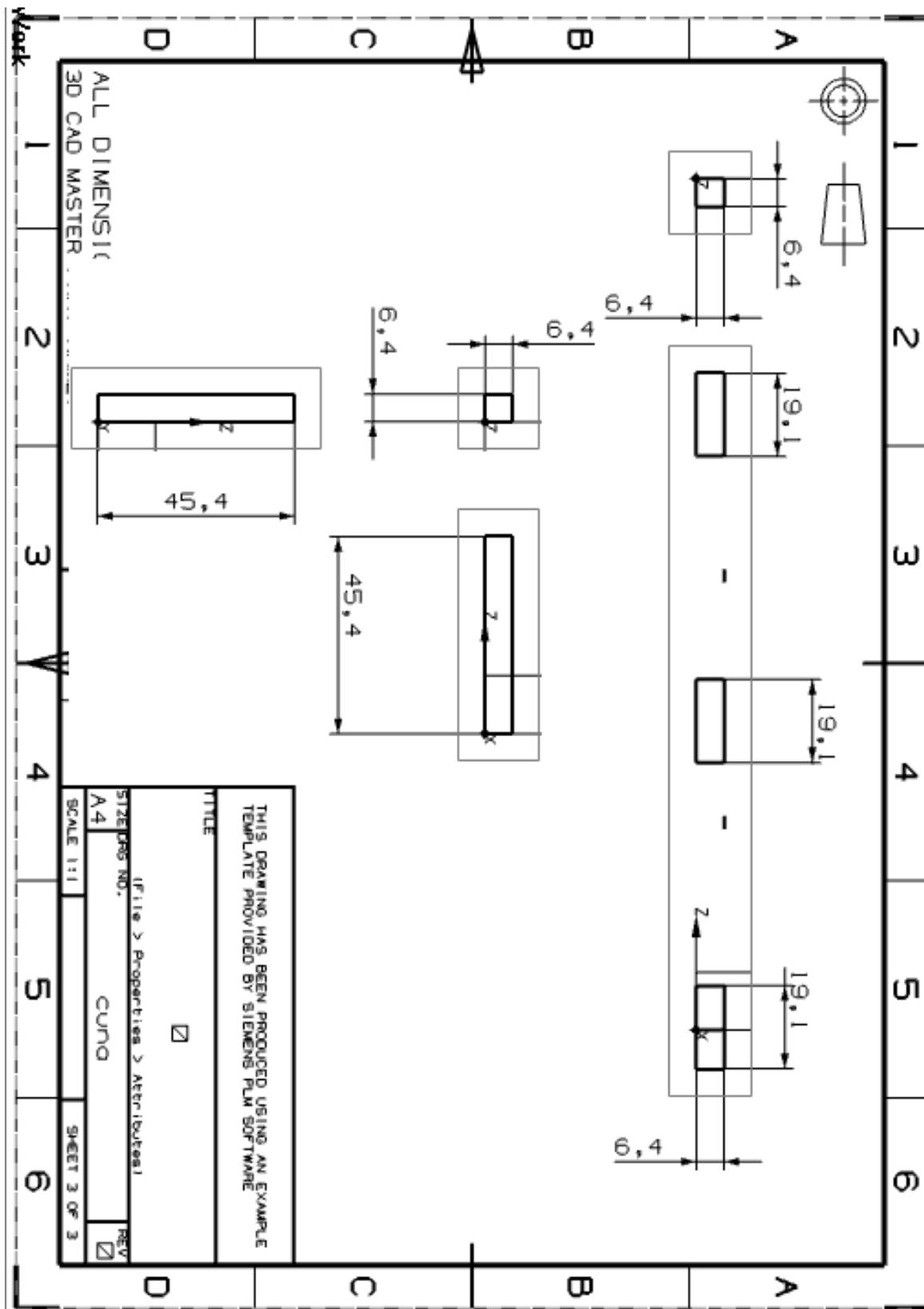


Figura A.2 Plano de las cuñas del triturador

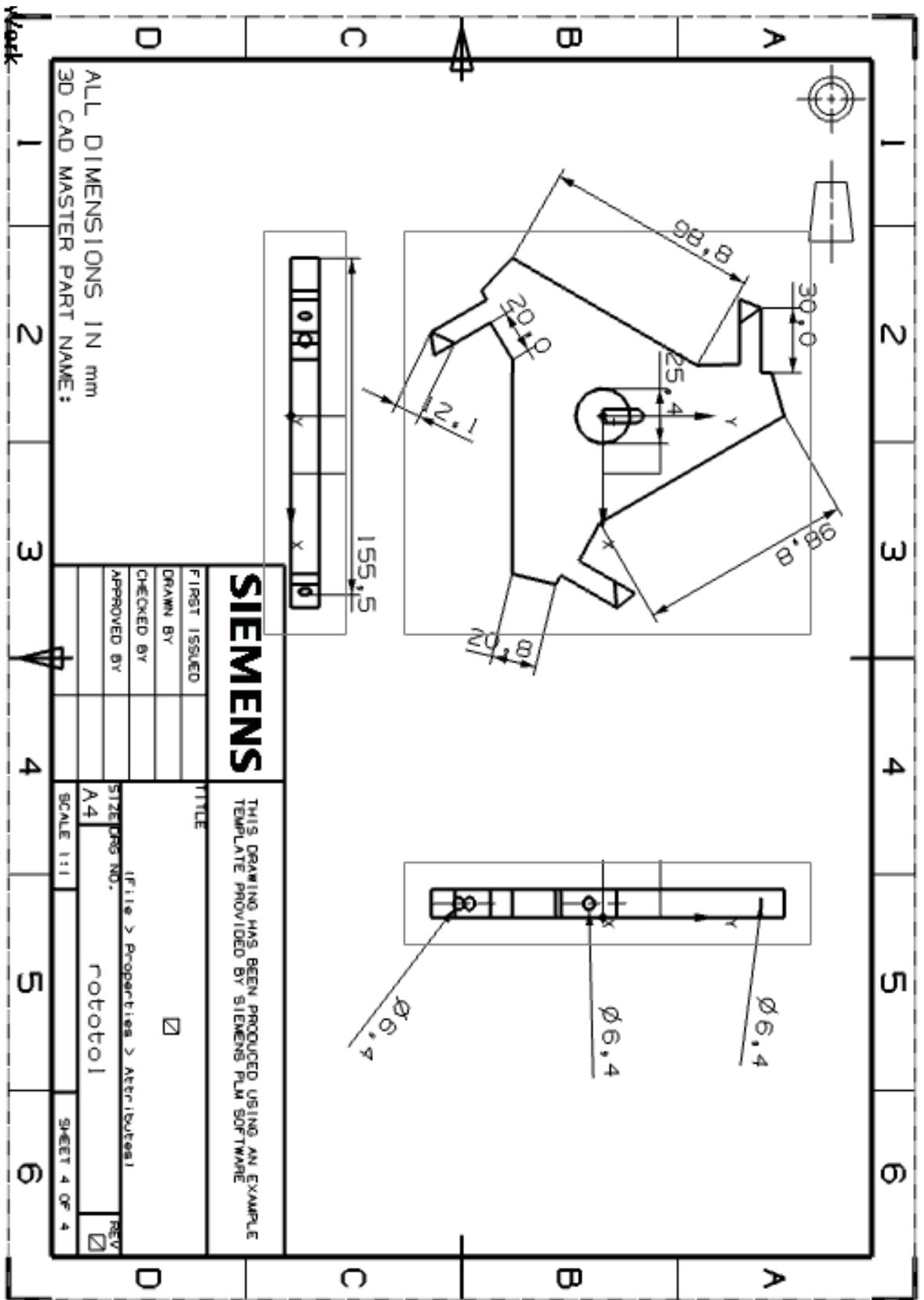


Figura A.3 Plano del rotor del triturador

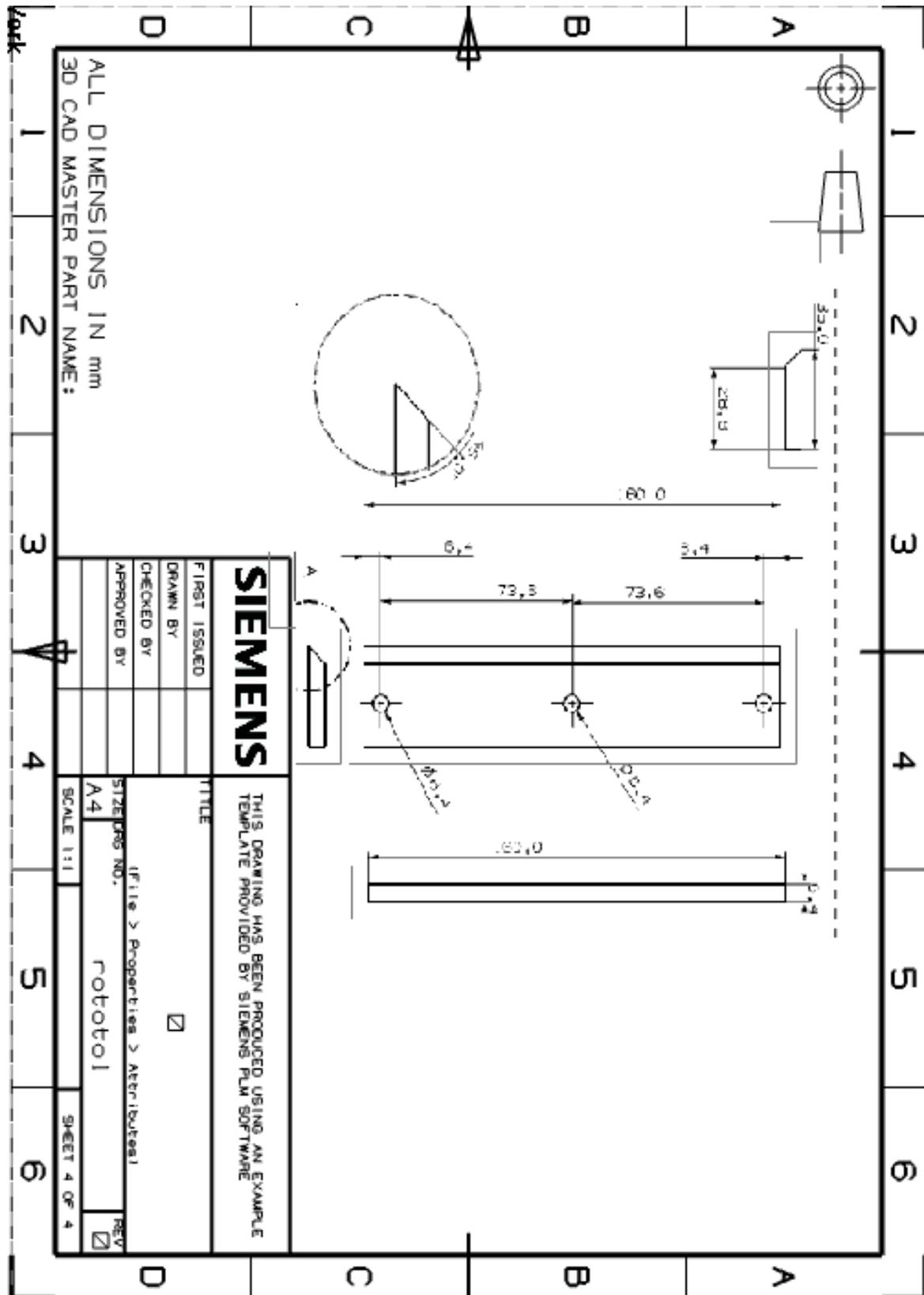


Figura A.4 Plano de las cuchillas fijas y móviles del triturador

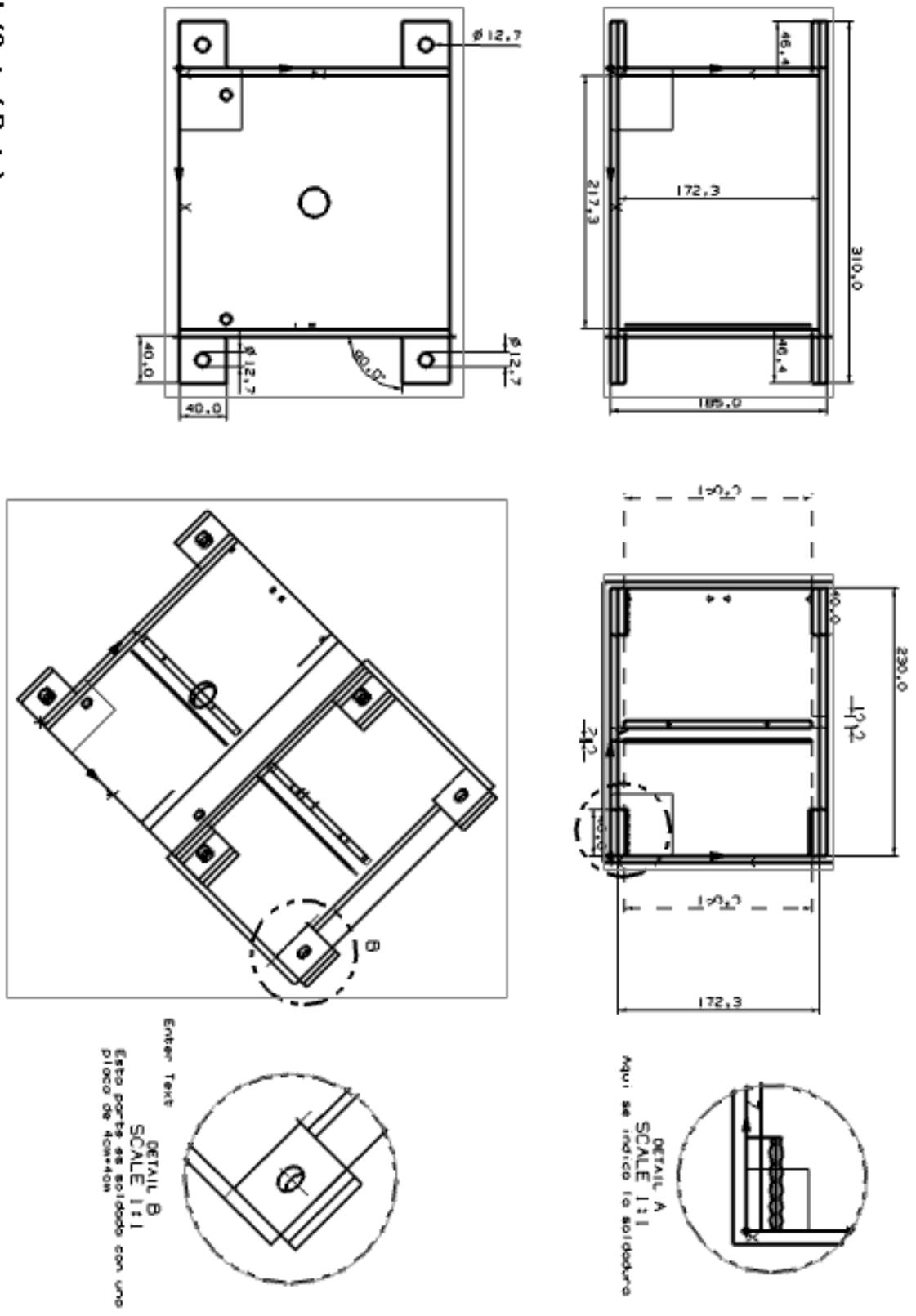


Figura A.5 Plano de la carcasa del triturador

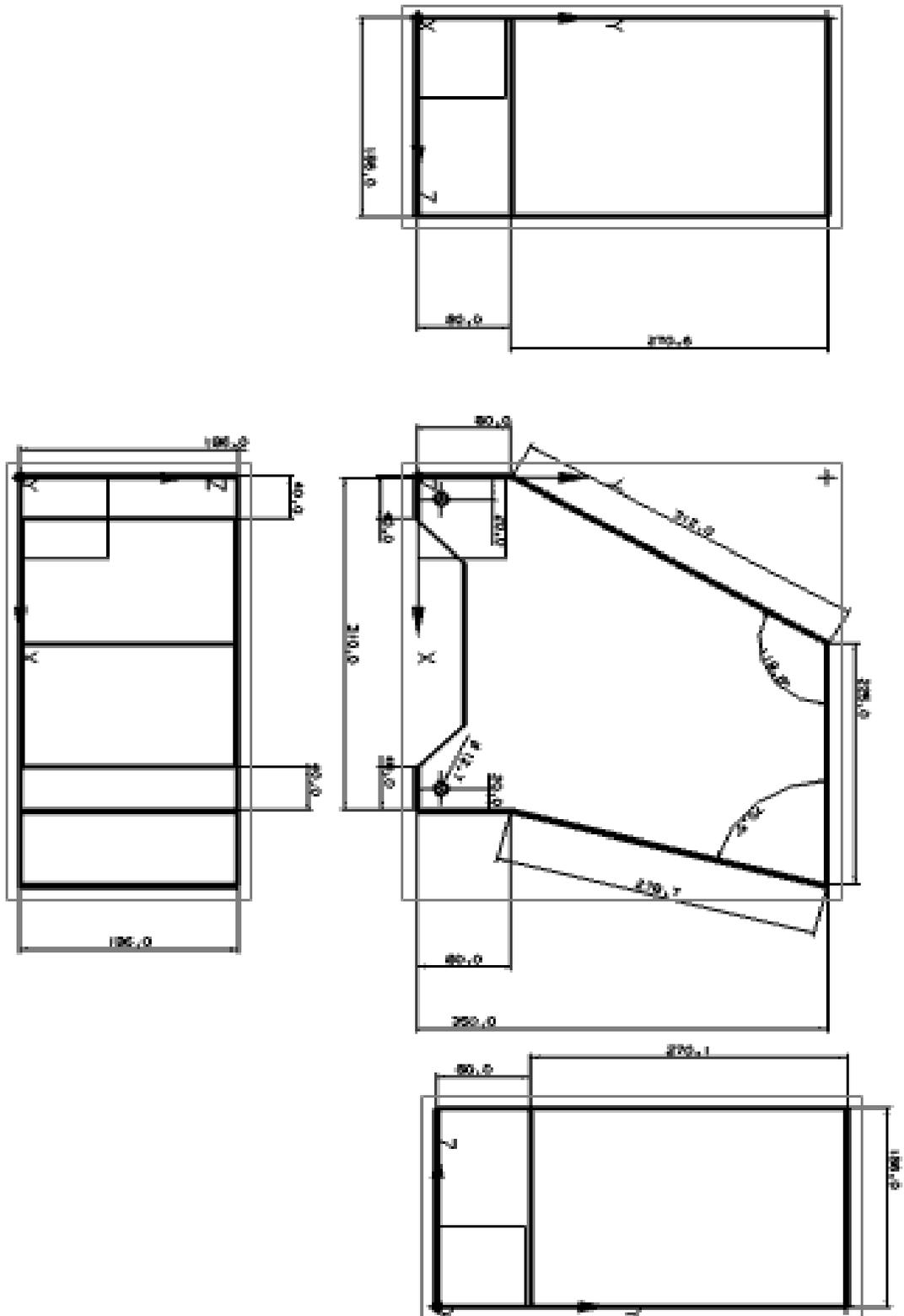


Figura A.6 Plano de la tolva de salida del triturador

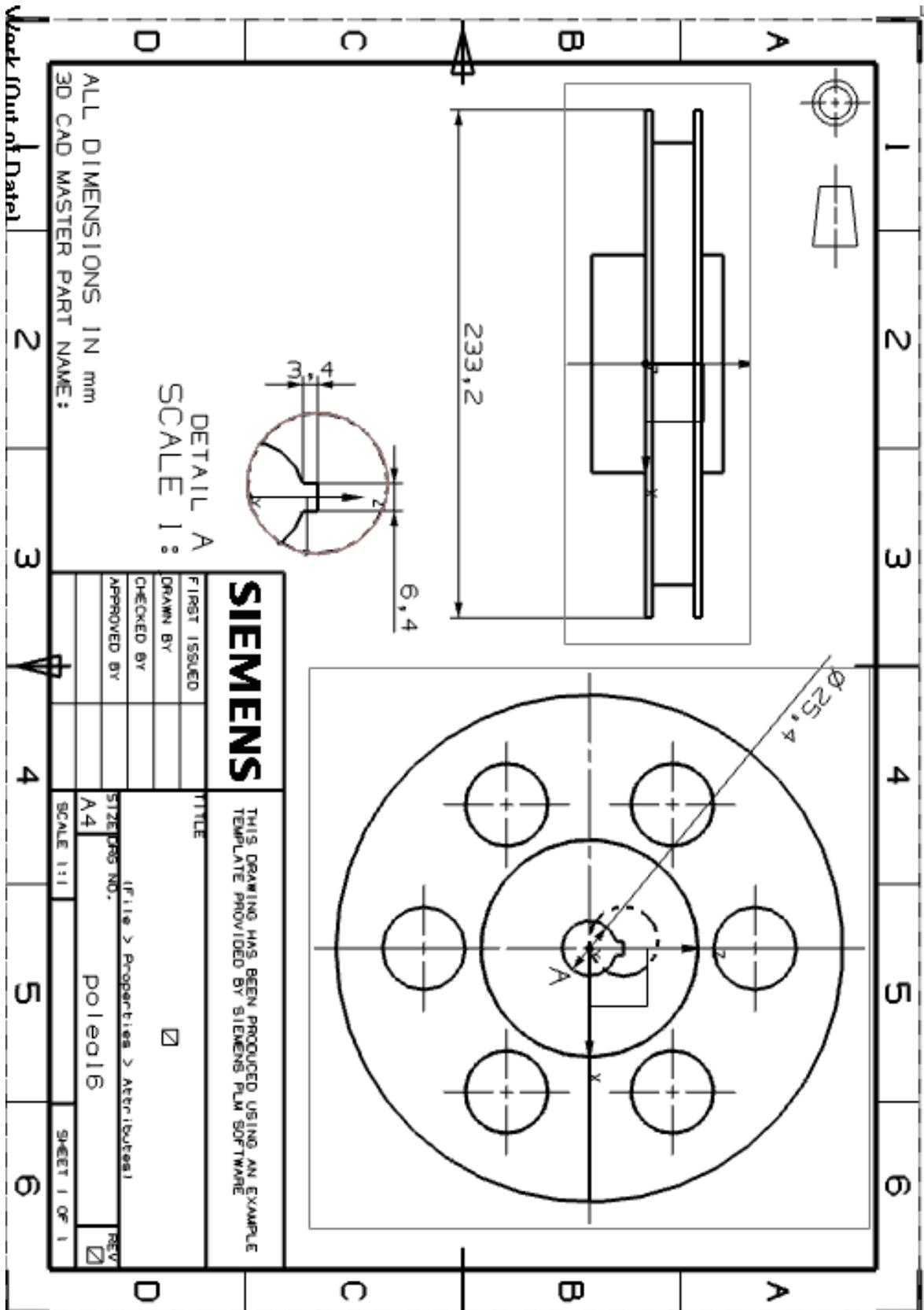


Figura A.7 Plano de la polea de 16 pulg

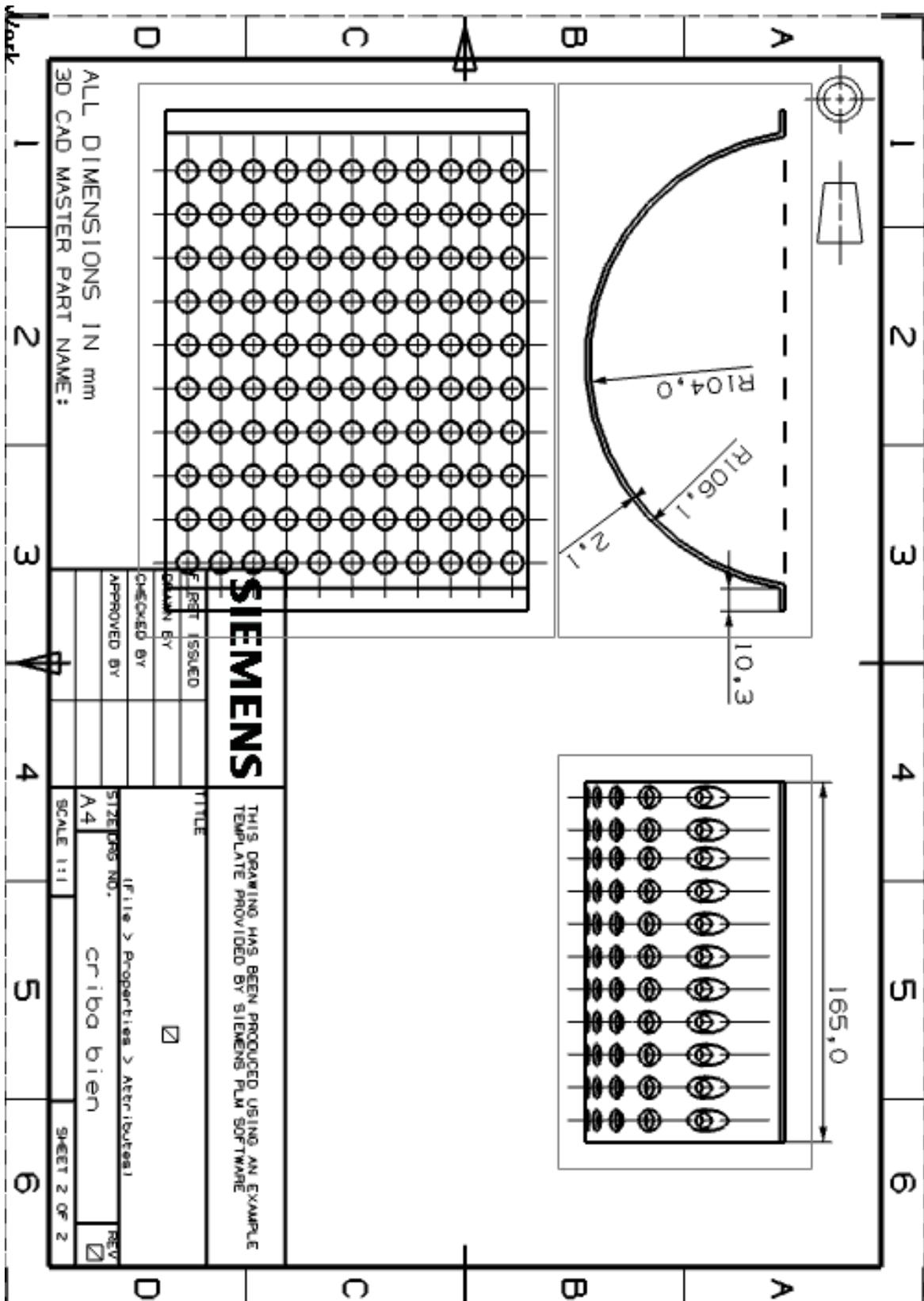


Figura A.8 Plano de la criba del triturador

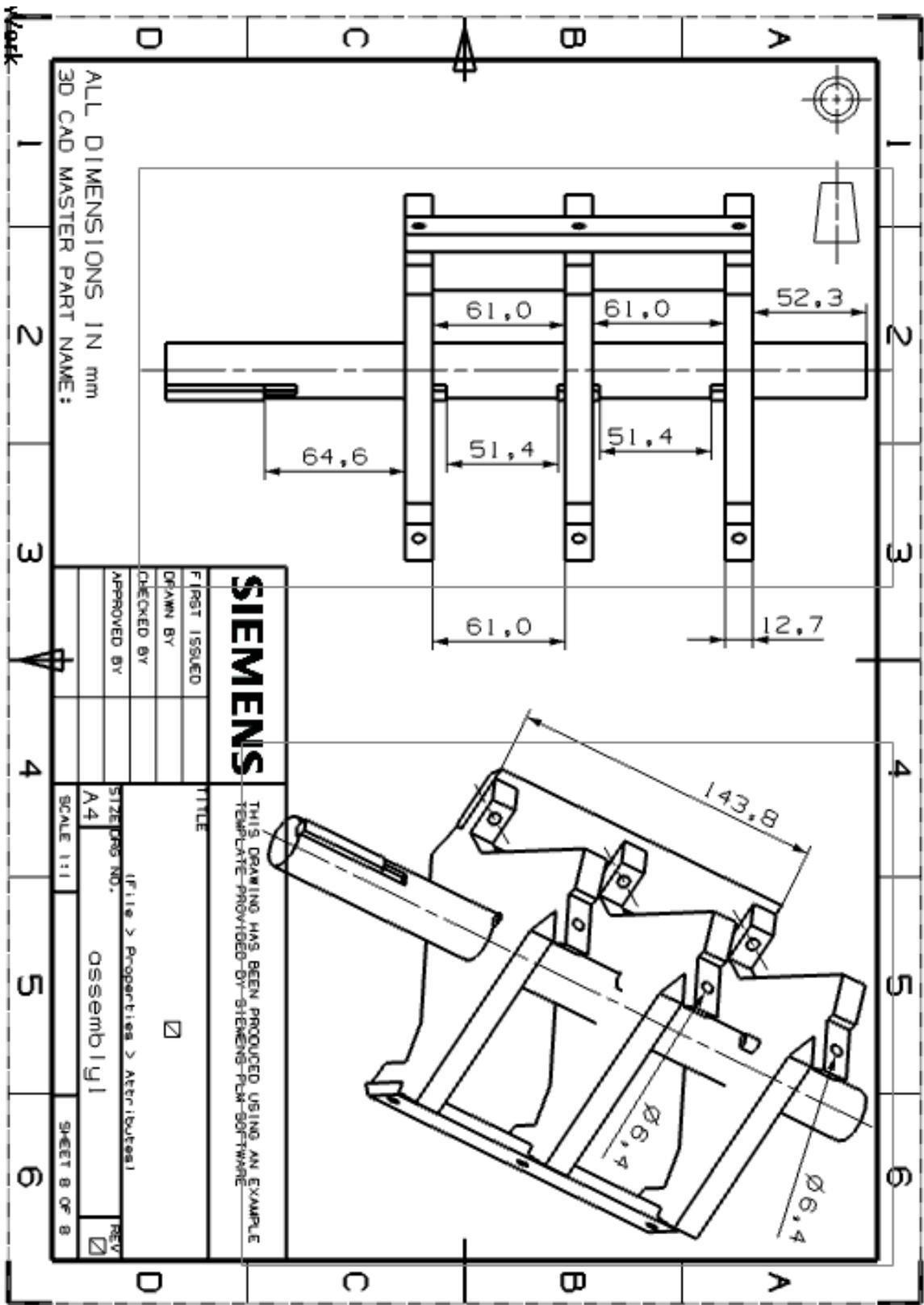


Figura A.9 Plano del eje, rotores y cuchillas ensamblados del triturador

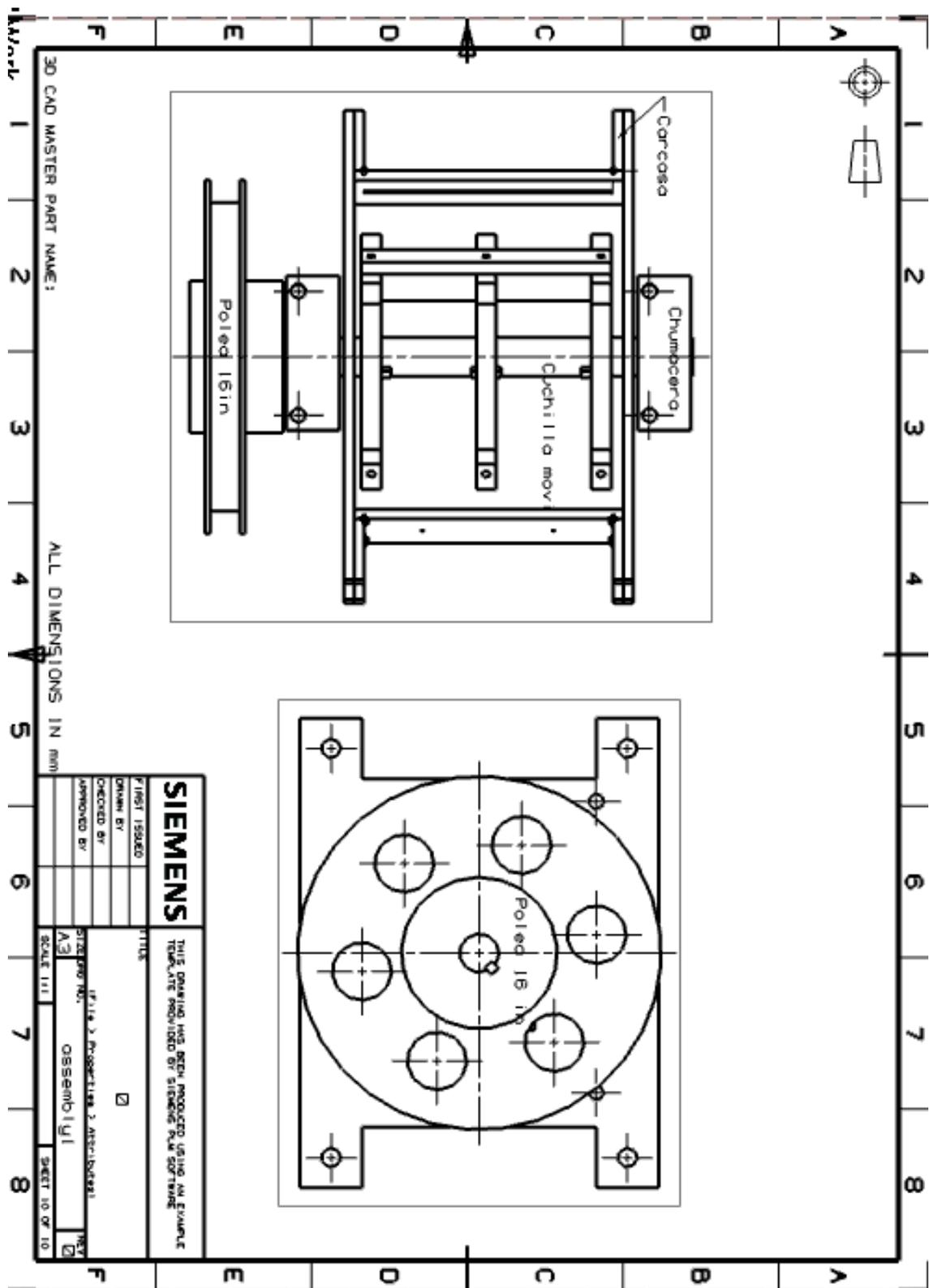


Figura A.10 Plano del triturador con la carcasa y polea ensambladas

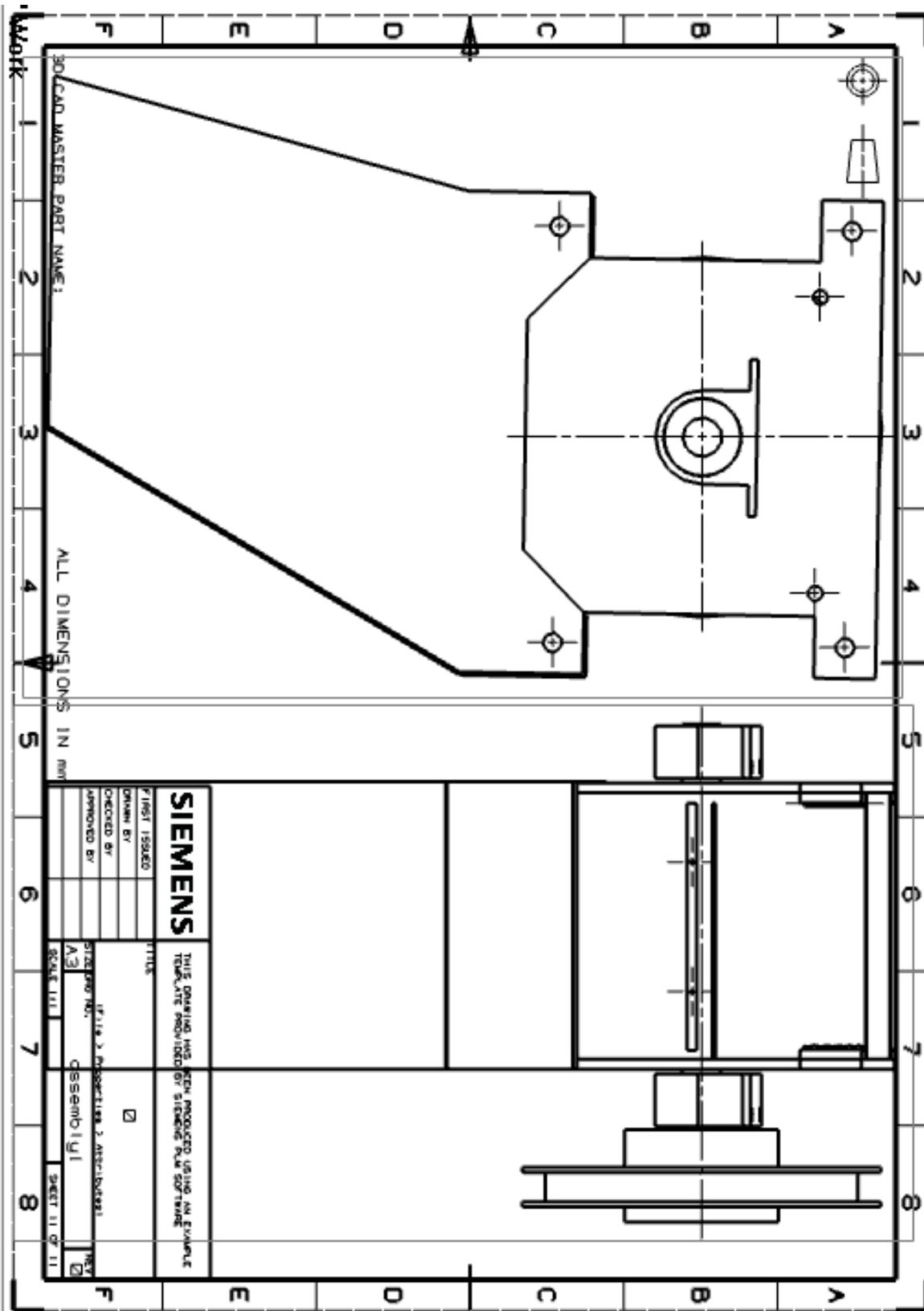


Figura A.11 plano de la tolva de entrada del triturador

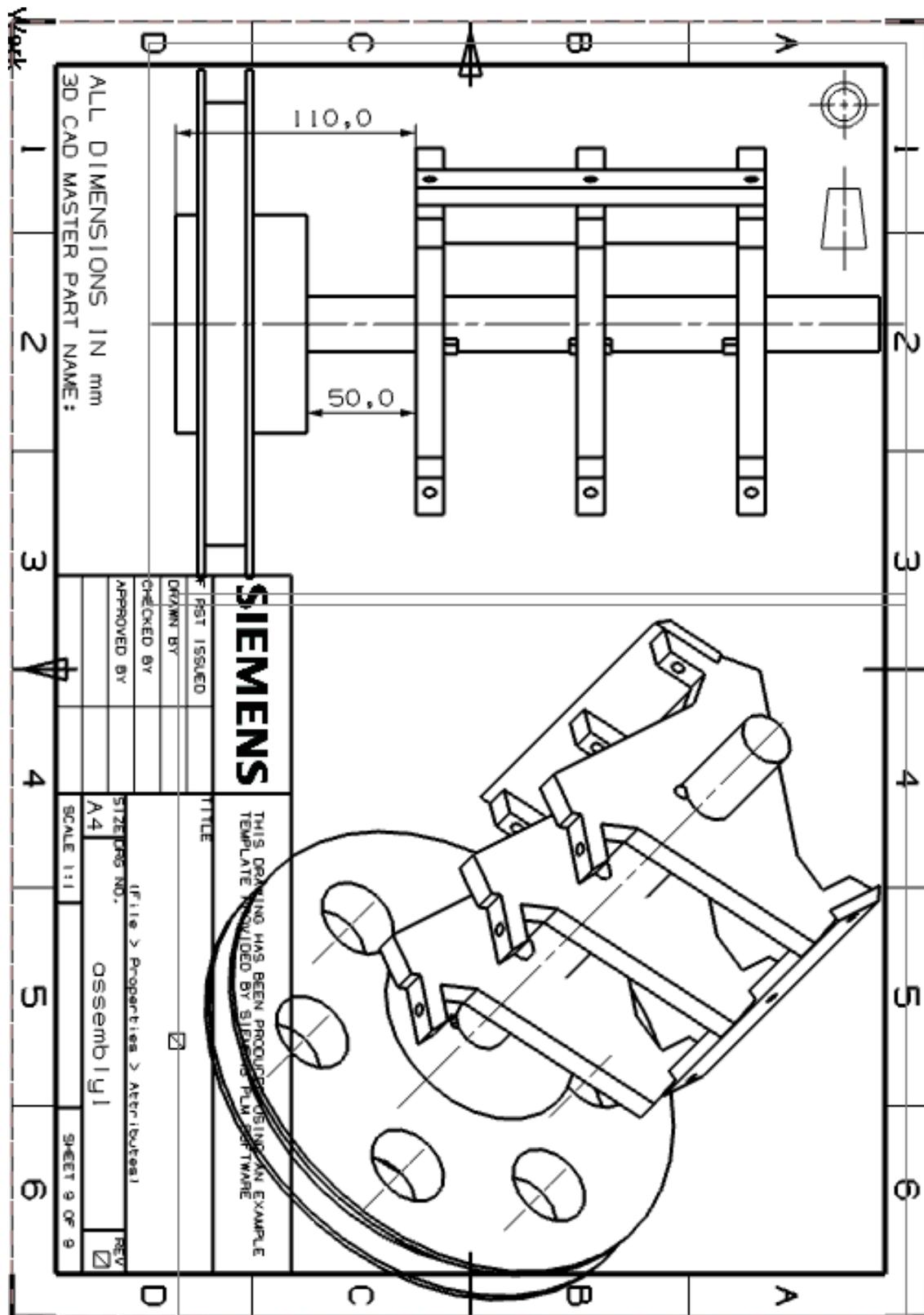


Figura A.12 Plano con los rotores, eje, cuchillas y polea ensamblados

REFERENCIAS

Arvanitoyannis, I. Ladas, D. y Mavromatis, A. 2006. Potential uses and applications of treated wine waste: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 41:475

Báez Montes, M. y García Domínguez, F.E. 2009. Diseño y fabricación de la herramienta especial para la extracción de rodamientos para la marcha generadora del motor Ariel 1-B. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Aeronáutica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F., México.

Delgado, V. M. 2010. Diseño conceptual y de detalle de un dispositivo para ensayos de impacto y precarga a tensión unidireccional en materiales compuestos. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Aeronáutica. Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F., México.

Esposito, G., Frunzo, L., Panico, A., Pirozzi, F.(2011. Modeling the effect of the ORL and OFMSW particle size on the performances of an anaerobic co-digestion reactor. *Process Biochemistry*. Pag. 557-565. EE. UU.

Fraume, N. J. 2005. Manual abecedario ecológico: la más completa guía de términos ambientales. Ed San Pablo. Ecuador. pp 326.

García, P. 2002. Un Proceso General de Diseño en Ingeniería Mecánica. *Ingeniería e Investigación*. 10:35. Bogotá, Colombia.

Grimaldo, M. 2013. Operación de un prototipo de degradación anaerobia de residuos sólidos orgánicos en ciudad universitaria. Tesis de Maestría de Ingeniería. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México.

Guadalupe, C. 2009. Determinación experimental de las propiedades en corte de una lámina fabricada en materiales compuestos. Tesis de Licenciatura de Ingeniería aeronáutica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F., México.

Henze, M. Mark, C., George, A., Damir, B. 2008. Biological waste-water treatment, principles, modeling and desing. Ed Publishing.EE.UU.

Hills, D.J. y Nakano, K. 1984. Effects of particle on anaerobic digestion of tomato solid wastes. *Agricultural Wastes*. pag 285-295. EE.UU

Insinkerator, 2015.Trituradores de desperdicio de comida. Publicación de la empresa Insinkerator. Wisconsin, EE.UU

Jiménez, M. A. 2006. Diseño de un recipiente para realizar tratamientos térmicos criogénicos. Tesis de Maestría de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional. México, D. F., México.

Juárez, S. 2012. Planeación, diseño e instalación de un prototipo para la conversión de desechos orgánicos a energía térmica. Tesis de Maestría de Ingeniería. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.

Juran, J. M. 1996. Nuevos pasos para planificar la calidad de los bienes y servicios. Ed Díaz de Santos. México D. F., México.

Juvinall, R.C. 1967. Engineering Considerations of Stress, Strain, and Strength (Consideraciones técnicas sobre esfuerzo, deformación y resistencia). Ed Mc Graw-Hill. Nueva York. EE. UU.

Luo, S., Xiao, B., Hu, Z., Liu, S., Guo, X. 2009. An experimental study on a novel shredder for municipal solid waste (MSW).. Ed. Mc Graw Hill. EE.UU.

Martínez, J.L. 2009. Diseño y Construcción de un Prototipo de Trituradora de Desperdicios Domésticos Orgánicos. Tesis de Maestría de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F., México.

Mc Cabe Warren, L. , Smith J. C. y Harriot, P. 2011. Unit operations of chemical engineering. Ed Mc Graw- Hill. EE.UU.

Mott R. L. 2006. Diseño de elementos de máquinas. Ed. Pearson Educación. EE. UU.

Norton R. L. 1995. Diseño de Maquinaria. Ed. Mc Graw Hill. EE. UU.

NX 7.5 Unigraphics. Programa utilizado para la realización del modelo del prototipo del triturador.

P. Kuhn y H.F. Hardrath. 1952. Un método ingenieril para estimar los efectos de fatiga en pruebas con acero. NACA. EE.UU

Pérez, V. H 2011. Diseño y construcción de un trituradora de materia vegetal. Tesis de Maestría de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional. México, D. F., México.

Ramos, D. 2013. Trituración de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de México y la producción anaerobia de biogás. Tesis de Maestría de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.

Restsch. 2015. Soluciones en molienda y tamizado. Recuperado de: www.Restsch.es

Rivas, O. 2013. Propuesta de mejorar la recolección de residuos sólidos urbanos. Tesis de Maestría de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.

Rubio, A. J. 2005. Diseño de una máquina recicladora para procesar los desechos plásticos en las zonas urbanas. Tesis de Maestría de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional. México, D. F., México.

SEMARNAT, 2004. Publicación de la Secretaria De Medio ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México.

SEMARNAT, 2010. Publicación de la Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México.

Shigley J. E. 2007. Diseño en ingeniería mecánica, Ed. Mc Graw Hill. EE. UU.

Shigley J. E. y Mitchell, L. D. 1983. Diseño en Ingeniería Mecánica. 4 edición. Ed Mc Graw-Hill. EE.UU.

Shigley J. y E. Mischke C . R. 1989. Diseño en Ingeniería Mecánica. Ed Mc Graw Hill. 5 edición.

SMA-GDF, 2010. Programa de gestión integral de los residuos sólidos para el Distrito Federal. Secretaria de Medio Ambiente, México, D.F.

UNTHA UK. 2015. Tecnología fiable para rentabilizar trituración de residuos. Publicación de la empresa UNTHA. Inglaterra, Reino Unido.

Vásconez, A. P.2013. Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 Kg/H para el laboratorio de conformado de la facultad de ingeniería mecánica. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Mecánica. Universidad de Ecuador. Quito., Ecuador.