



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
ENERGÍA

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN TRITURADOR DE RESIDUOS
HUMEDOS EN MÉXICO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. ERIK OSWALDO CAMACHO VILLAN

TUTOR PRINCIPAL
DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZALEZ

MÉXICO, D. F. MARZO 2018

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Borja Ramírez Vicente

Secretario: M. en I. Sánchez Cifuentes Augusto

Vocal: Dra. Castro González Alejandra

1er. Suplente: Dr. Naude De La Llave Jorge L.

2do. Suplente: M. en I. Sánchez Liévano Guillermo

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Este proyecto se llevó a cabo gracias al proyecto SECITI 106/2016 “Planta de biodiésel para uso automotriz en la Ciudad de México”.

Asimismo, también forma parte del proyecto PAPIIT IN117617 Generación de energía eléctrica a partir de la gasificación de bolsas de polietileno.

Tutora de tesis: Dra. Alejandra Castro González

Ponente: Ing. Erik Oswaldo Camacho Villan

AGRADECIMIENTOS

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

Gracias.

También agradezco a la Doctora Alejandra Castro por la orientación que tuvo conmigo en el transcurso de la maestría y el apoyo para que se pudiera terminar este trabajo.

A Laura, por su presencia, su compañía y su apoyo han sido muy importantes. El poder compartir momentos con una persona tan singular es algo muy valioso para mí.

A mis amigos y compañeros que nos fuimos encontrando dentro de la facultad, su compañía hizo de mi estancia en la Universidad una experiencia muy enriquecedora e inolvidable para mí, el intercambio de experiencias y anécdotas queda como un recuerdo invaluable.

Al Posgrado de Ingeniería de la UNAM, por brindarme esta oportunidad de desarrollo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca para estudios de posgrado, que me permitió realizar mi maestría durante estos dos años.

INDICE

	Paginas
INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	I X
OBJETIVO GENERAL	I X

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

1.1 Residuos sólidos urbanos.....	1
1.2 Impactos de los residuos sobre la población y los ecosistemas.....	2
1.3 Manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos.....	3
1.3.1 Recolección.....	3
1.3.2 Reciclaje	3
1.3.3 Disposición final.....	4
1.4 Tratamiento de los residuos sólidos	5
1.4.1 Separación (manual o mecanizada)	6
1.4.2 Trituración	6
1.4.3 Compactación	6
1.4.4 Hidrólisis	7
1.4.5 Incineración	7
1.4.6 Pirólisis	7
1.4.7 Compostaje	7
1.4.8 Degradación anaerobia	8

CAPÍTULO 2 FUNDAMENTOS

2.1 Trituración	9
2.2 Tipos de trituradores y molinos	10
2.3 Usos de la trituración.....	11
2.4 Trituradores de desperdicios de comida.	12
2.5 Molinos.....	13
2.5.1 Molinos de martillos	13
2.5.2 Molino de discos.....	13
2.5.3 Molinos de corte	14

CAPÍTULO 3 ESTUDIO DE CASO

3.1 Estudio de caso	16
3.2 Problemática a resolver	21

CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA

4.1 Metodología QFD.....	22
4.2 Especificaciones	23
4.2.1 Identificación del cliente	23
4.2.2 Identificación de los requerimientos del cliente	24
4.2.3 Importancia relativa de los requerimientos	27
4.2.4 Traducción de los requerimientos en términos mensurables de ingeniería	28
4.2.5 Establecimiento de las metas de diseño.....	30
4.2.6 Análisis funcional	31

CAPÍTULO 5 RESULTADOS

5.1 Diseño conceptual.....	34
5.1.1 Función recibir.....	34
5.1.2 Función trituración	35
5.1.3 Función separar.....	36
5.1.4 Función expulsar.....	37
5.2 Diseño de detalle	42
5.2.1 Cálculo de la potencia del motor	42
5.2.2 Diseño del eje de la trituradora.....	42
5.2.3 Diseño de cuñas	55
5.2.4 Rotores.....	57
5.2.5 Velocidad crítica de las flechas	58
5.2.6 Selección de rodamientos	60
5.2.7 Diseño de cuchillas.....	61
5.3 Manufactura.....	62
5.3.1 Materiales para la manufactura.....	62
5.3.2 Piezas maquinadas (rotores, cámara de trituración y cuchillas).....	63
5.3.2.1 Rotores.....	64
5.3.2.2 Cámara de trituración	65
5.3.2.3 Cuchillas	68
5.3.3 Ensamble	68
5.4 Evaluación económica de la planta de biogás	73
5.4.1 Evaluación económica de la planta de biogás	73
5.4.2 Evaluación económica de la planta de biogás implementando el sm100 y el prototipo de trituradora	76
5.5 Operación del prototipo de trituradora	73

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
Referencias bibliográficas	82
Anexo a.....	85
Anexo b	98

Índice de Figuras

Figura 1.2	Composición de los RSU reciclados 2011.....	4
Figura 1.3	Rellenos sanitarios por entidad federativa 2011.....	5
Figura 2.1	Fuerza de compresión.....	9
Figura 2.2	Fragmentación por impacto.....	9
Figura 2.3	Fragmentación por cizalla.....	10
Figura 2.4	Fragmentación por corte.....	10
Figura 2.5	Partes de un triturador de comida.....	12
Figura 2.6	Molino de martillos.....	13
Figura 2.7	Molino de discos.....	13
Figura 2.8	Rotor de corte paralelo y rotor de 6 discos.....	14
Figura 2.9	Molino de corte.....	14
Figura 3.1	Residuos recolectados.....	16
Figura 3.2	Triturador de residuos.....	17
Figura 3.3	Picado de residuos de trituración.....	17
Figura 3.4	Tanque receptor y de preparación de la alimentación al reactor.....	18
Figura 3.5	Bomba monyo Mod. 35651.....	18
Figura 3.6	Reactor R-1.....	18
Figura 3.7	Reactor R-2.....	19
Figura 3.8	Desulfurador de biogás.....	19
Figura 3.9	Condensador.....	20
Figura 3.10	Medidor de gas.....	20
Figura 3.11	Bolsa de almacenamiento.....	20
Figura 3.12	Manómetro diferencial.....	21
Figura 4.1	Diseño de bloques para la metodología de diseño QFD.....	23
Figura 4.2	Diagrama funcional.....	31
Figura 4.3	Funciones principales del prototipo de trituradora.....	32
Figura 4.4	Funciones de servicio y sus interrelaciones.....	33
Figura 5.1	Vista en perspectiva de la trituradora acoplada a una superficie plana.....	38
Figura 5.2	Explosión del ensamble de las cuchillas fijas, criba, polea y cámara de trituración.....	38
Figura 5.3	Explosión del ensamble de la cámara de trituración, rotores, cuñas, eje, cuchillas móviles y chumaceras.	39
Figura 5.4	Ensamble de los rotores, cuñas, eje, cuchillas móviles, cuchillas fijas, criba y polea.....	40
Figura 5.5	Vista de la polea, rodamiento, eje y rotor.....	43
Figura 5.6	Diagrama de cuerpo libre del eje del prototipo de trituradora.....	43
Figura 5.7	Volumen calculado de los ejes, rotores y cuchillas del prototipo de trituradora en NX. Fuerzas cortantes y momentos a los que estará sometido el eje del prototipo de la trituradora en el plano XY.....	45
Figura 5.8	Fuerzas cortantes y momentos a los que estará sometido el eje del prototipo de la trituradora en el plano XY.....	46
Figura 5.8	Fuerzas cortantes y momentos a los que estará sometido el eje del prototipo de la trituradora en el plano XY.....	46
Figura 5.9	Fuerzas cortantes y momentos a los que estará sometido el eje del prototipo de la trituradora en el plano XZ.....	47
Figura 5.10	Factores superficiales para diversos acabados.....	51
Figura 5.11	Plano en 3D de la sección del rotor que recibe el esfuerzo.....	57
Figura 5.12	Selección del material y de tipo de mallado del eje de la trituradora (A partir de NX)..	58
Figura 5.13	Análisis de la deflexión máxima aplicada en el eje de la trituradora (a partir de NX).....	59

Figura 5.14	Chumacera del prototipo de trituradora.	60
Figura 5.15	Restricciones fijas y fuerza aplicada a la cuchilla de corte NX 7.5.....	61
Figura 5.16	Diagrama en 3D del esfuerzo y la deformación máxima aplicada a una de las cuchillas del rotor.....	61
Figura 5.17	Placas a manufacturar.....	62
Figura 5.18	Perímetro de corte por parte de la cortadora por chorro de agua.....	64
Figura 5.19	Corte de los rotores. CCADET.....	64
Figura 5.20	Modelado en NX y acabado del rotor CCADET.....	65
Figura 5.21	Rotor montado en un torno, rotor rectificado.....	65
Figura 5.22	Perímetro de corte para la carcasa trazado por la cortadora a chorro de agua.....	66
Figura 5.23	Secuencia de corte de la cámara de trituración.....	66
Figura 5.24	Partes de la carcasa del prototipo de trituradora.....	67
Figura 5.25	Ensamble final de la carcasa.....	67
Figura 5.26	Cuchillas maquinadas con filo de 45°.....	68
Figura 5.27	Modelo del Eje y cuñas en NX 7.5.....	68
Figura 5.28	Secuencia de ensamble.....	69
Figura 5.29	Sub-ensamble final del eje, cuñas, rotores y cuchillas móviles.....	70
Figura 5.30	Piezas sin ensamblar.....	71
Figura 5.31	Secuencia de ensamble final.....	72

Índice de Tablas

Tabla 1.1	Métodos de tratamiento de RSU.....	6
Tabla 2.1	Equipos de fragmentación.....	11
Tabla 2.2	Equipo método de reducción.....	15
Tabla 4.1	Requerimientos generales.....	25
Tabla 4.2	Requerimientos obligatorios.....	26
Tabla 4.3	Requerimientos deseables.....	26
Tabla 4.4	Escala fundamental de comparación.....	27
Tabla 4.5	Matriz comparativa de requerimientos.....	27
Tabla 4.6	Matriz comparativa de requerimientos normalizada.....	28
Tabla 4.7	Importancia relativa de requerimientos deseables.....	28
Tabla 4.8	Traducción de los requerimientos del dispositivo en términos medibles de ingeniería..	29
Tabla 4.9	Metas de diseño para la trituradora.....	30
Tabla 4.10	Representación de los parámetros presentes en el prototipo de trituradora.....	31
Tabla 5.1	Opciones para satisfacer la función recibir y bocetos para la función recibir.....	34
Tabla 5.2	Planteamiento de opciones y bocetos para satisfacer la función triturar.....	35
Tabla 5.3	Opciones para satisfacer la función separar.....	36
Tabla 5.4	Opciones para satisfacer la función expulsar.....	37
Tabla 5.5	Modo de puntuación para la matriz de fallos y efectos.....	41
Tabla 5.6	Matriz de fallas y efectos aplicada al dispositivo.....	41
Tabla 5.7	Características del motor del prototipo de la trituradora.....	42
Tabla 5.8	Coeficientes para la ecuación de factor superficial.....	52
Tabla 5.9	Intervalos de temperaturas para determinar Temperatura.....	52
Tabla 5.10	Factores de confiabilidad para desviación estándar del 8%.....	53
Tabla 5.11	Constante de Neuber para aceros.....	54
Tabla 5.12	Tamaños estándar de cuñas y prisioneros.....	55
Tabla 5.13	Materiales usados para la construcción del prototipo de trituradora.....	62
Tabla 5.14	Materiales que se adquirieron comercialmente.....	63
Tabla 5.15	Componentes donados.....	63
Tabla 5.16	Desglose de la inversión inicial para la conformación de la planta de biogás con el prototipo de trituradora.....	74
Tabla 5.17	Atributos técnicos y operarios de la planta de biogás.....	75
Tabla 5.18	Datos de entrada para la evaluación económica de la planta de biogás.....	75
Tabla 5.19	Indicadores de rentabilidad económica calculados para la planta de biogás.....	76
Tabla 5.20	Especificaciones del molino triturador SM100 a) Molino SM100.....	77
Tabla 5.21	Especificaciones del prototipo de trituradora.	78
Tabla 5.22	Datos de entrada para la evaluación económica implementando cada máquina en la planta de biogás.....	79
Tabla 5.23	Comparación de indicadores de rentabilidad económica implementando el molino SM100 y el prototipo de triturador calculados para la planta de biogás.....	79
Tabla 5.24	Comparación de la operación, con y sin el prototipo.....	80

RESUMEN

Una planta de biogás a nivel semi-industrial se instaló en uno de los 23 restaurantes de Ciudad Universitaria. El biogás sustituye el 6% del consumo total de energía calorífica del restaurante. La inversión en la máquina de trituración representaba el 80% del coste total de la inversión de la planta de biogás. La eficiencia del proceso de degradación anaerobia depende de un sistema eficiente de trituración. Para el funcionamiento de la planta de biogás se necesitaban 3 personas, debido a que la trituración de los residuos orgánicos podría tomar hasta 3 horas. 50 kg / día de la materia orgánica se procesan para reducir su tamaño de 25 a 3 cm.

El tiempo de trituración representaba alrededor del 90% del trabajo en la planta. En México, la máquina de trituración debe ser importada y el alto costo reduce la viabilidad económica de la planta, por lo que se decidió diseñar y construir un prototipo de máquina trituración con las siguientes características: reducción de tamaño mediante corte por impacto con la potencia del motor de 1,5 Hp, velocidad de 425 rpm, el material de fabricación de acero inoxidable 304, 3 rotores y 3 cuchillas acoplados al rotor; y 2 cuchillas en la cámara de trituración fijo. Esta nueva máquina de trituración representa un 5% de la inversión del costo de una máquina importada. Este aplastamiento de la máquina y sus componentes están en el proceso de obtención de una patente. El funcionamiento óptimo de la máquina de trituración reduce el tiempo de residencia hidráulico en el proceso de hidrólisis y la metanogénesis a partir de 30 a 18 días. Por lo tanto también ayuda a reducir el tamaño del reactor digestor para futuros diseños para el tratamiento anaeróbico de residuos orgánicos de un restaurante.

La relación costo beneficio del prototipo de trituradora es de \$1.77 pesos. Lo cual es una ganancia de \$0.77 pesos por cada peso invertido. El valor actual neto del proyecto implementando el prototipo de trituradora es de \$197,386.34 pesos a 20 años. El punto de equilibrio implementando el prototipo de trituradora es de 9% lo que indica que se debe vender ese porcentaje del producto para no registrar pérdidas ni ganancias. En pesos representa la cantidad de \$1,591.89 pesos, que expresado en términos de m^3 de biogás, se deberán producir 227.08 m^3 de biogás al año para no tener pérdidas. El periodo de cancelación ocurre en el año 15.

Este espacio se dejó intencionalmente en blanco

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la Ciudad de México se producen 13,558 toneladas por día de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) por 8,854,600 habitantes. La generación per cápita es equivalente a 1.5 kg / habitante por día. La parte orgánica representa el 50% de los RSU y se conforman mayormente por desechos de jardín y desechos de comida. Estos desechos pueden ser usados para generar biogás como sustituto de gas LP en la planta de biogás del restaurante Cibarium.

El restaurante se abre seis días a la semana, de lunes a sábado, preparando un promedio de 600 comidas por día con ingresos monetarios. El restaurante utiliza gas licuado de petróleo (GLP) como combustible principal para cocinar, con un nivel de consumo de 264,5 kg por semana. 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. Un escenario posible para optimizar y reducir el tiempo de trituración sería la compra de una máquina de trituración marca Retsch, fabricada en Alemania, la cual, tiene un valor de aproximadamente 5,287 dls, pero debido a que el valor de la máquina trituradora representa más del 80% del valor total de la planta de biogás, se decidió diseñar y construir una máquina trituradora.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir 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

Generar un diseño conceptual de un prototipo de trituradora de residuos orgánicos húmedos mediante el uso del Despliegue de la Función de Calidad (QFD).

Generar los planos de construcción del prototipo de triturador.

Construir un prototipo de trituradora de desperdicios domésticos

Reducir el tiempo de picado de los desechos orgánicos y aumentar su carga en un 50%

Plantear una evaluación económica para el funcionamiento de la planta implantando el prototipo de trituradora.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

1.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

El crecimiento de las ciudades, aunado al de la población mundial y la concentración de ésta en las regiones urbanas; así como la tendencia de las sociedades de manera generalizada por adquirir el estilo de vida consumista e industrial de los países desarrollados, han tenido como consecuencia el incremento constante en la producción de desechos en las casas, industrias, oficinas, etc. El nombre que se le ha dado a este tipo de desechos es el de residuos sólidos.

Una clasificación de los residuos de acuerdo a su potencial repercusión en el ambiente y al tratamiento que se les ha de dar tomando en cuenta este último aspecto. En tal clasificación se definen dos tipos de residuos sólidos: Los peligrosos y los no peligrosos. Los residuos no peligrosos a su vez se componen por dos grupos: Los residuos de manejo especial (RME) y los residuos sólidos urbanos (RSU).

En México, antes de la publicación de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) en octubre de 2003, los RSU se conocían como residuos sólidos municipales. Esta Ley definió a los RSU como: “Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole”.

Actualmente, en la Ciudad de México se generan alrededor de 13,558 toneladas diarias de RSU producidas por los 8,854,600 habitantes, (INEGI, 2015). Es así, que la generación per cápita es equivalente a 1.5 kg/hab*día. En general, la composición depende, entre otros factores, de los patrones de consumo de la población: Países con menores ingresos producen menos residuos, dentro de los cuáles dominan los de composición orgánica, mientras que en los países con mayores ingresos, los residuos son en su mayoría inorgánicos a partir de productos manufacturados y con un porcentaje mayor de productos y desechos. El caso de México ilustra la transformación entre ambos tipos de economías: en la década de los 50, el porcentaje de residuos orgánicos en la basura oscilaba entre 65 y 70% de su volumen, mientras que para 2011 esta cifra se redujo al 52.4% como se muestra en la Figura 1.1 (SEMARNAT, 2009).

Este espacio se dejó intencionalmente en blanco

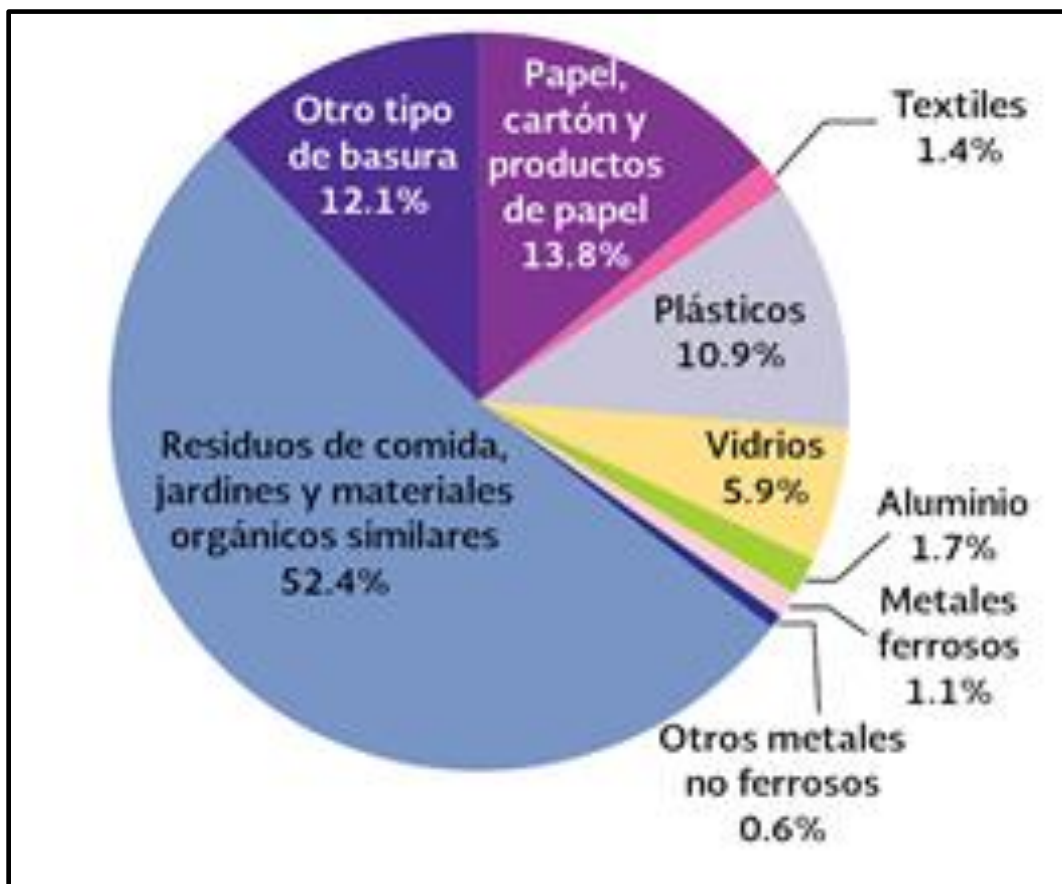


Figura 1.1.- Composición de los RSU en México 2011 (SEDESOL, 2012a)

Los residuos sólidos urbanos se componen por los siguientes materiales:

- * Papel (incluyendo los productos derivados) y cartón: cajas, revistas, tetra pack, periódicos.
- * Textiles: ropa
- * Plásticos: bolsas, envases de refresco, recipientes de comida rápida, etc.
- * Vidrios: envases de cristal, frascos, botellas, etc.
- * Metales (ferrosos y no ferrosos): cables, corcholatas, latas de conserva, alfileres, grapas, cacerolas de aluminio.
- * Restos orgánicos: desperdicios de origen animal y vegetal (se incluyen los compuestos de madera).

1.2 IMPACTOS DE LOS RESIDUOS SOBRE LA POBLACIÓN Y LOS ECOSISTEMAS

Las consecuencias ambientales de la inadecuada disposición de los residuos pueden ser negativas para la salud de las personas y de los ecosistemas naturales. Algunos de sus impactos son los siguientes:

a) **Generación de contaminantes y gases de efecto invernadero:** La descomposición de los residuos orgánicos produce gases que resultan desagradables no sólo por los olores que generan, sino que pueden ser peligrosos debido a su toxicidad o por su explosividad. Algunos de ellos son también gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global. Entre estos gases destacan el dióxido y monóxido de carbono (CO_2 y CO , respectivamente), metano (CH_4), ácido sulfhídrico (H_2S) y compuestos orgánicos volátiles (COVs, como la acetona, benceno, estireno, tolueno y tricloroetileno).

b) **Proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades:** Los residuos orgánicos que se disponen atraen a un numeroso grupo de especies de insectos, aves y mamíferos que pueden transformarse en vectores de enfermedades peligrosas como la peste bubónica, tifus, salmonelosis, cólera, amebiasis, disentería, toxoplasmosis, dengue y fiebre amarilla, entre otras.

1.3 MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

El manejo adecuado de los RSU tiene como objetivo final, además proteger la salud de la población, reduciendo su exposición a lesiones, accidentes, molestias y enfermedades causadas por el contacto con los desperdicios, evitar el impacto potencial que podrían ocasionar sobre los ecosistemas. Sin embargo, la situación del manejo de estos residuos dista mucho de ser la adecuada a lo largo del país. Aún a la fecha es relativamente común que los residuos se depositen en espacios cercanos a las vías de comunicación o en depresiones naturales del terreno como cañadas, barrancas y cauces de arroyos. En el ciclo de vida de los residuos, después de su generación existen diversas etapas importantes para su manejo, entre las que destacan su recolección, reciclaje y disposición final.

1.3.1 RECOLECCIÓN

En 1998, se recolectaba cerca del 85% de los residuos generados en el país, cifra que en 2011 alcanzó 93%. Sin embargo, cuando se considera el tamaño de las localidades, la situación es distinta. En 2011 en las zonas metropolitanas del país, la cobertura en la recolección de los residuos alcanzó 90%, mientras que en las ciudades medias fue de 80%, en las pequeñas de 26% y en las localidades rurales o semiurbanas alcanzó 13%.

1.3.2 RECICLAJE

A pesar de que el volumen de RSU que se recicla en el país se ha incrementado en los últimos años, aún resulta bajo. De acuerdo con las cifras obtenidas en los sitios de disposición final, en 2011 se recicló 4.8% del volumen de RSU generados; no obstante, esta cifra podría alcanzar el 10% en virtud de que muchos de los RSU susceptibles de reciclarse se recuperan antes de llegar a los sitios de disposición final, tanto en los contenedores como en los vehículos de recolección. En la Figura 1.2 se observa la composición de los residuos reciclados. Del volumen total de RSU reciclados en 2011, el mayor porcentaje correspondió a papel, cartón y productos de papel (42.2%), seguido por vidrio (28.6%), metales (27.8%), plásticos (1.2%) y textiles (0.2%).

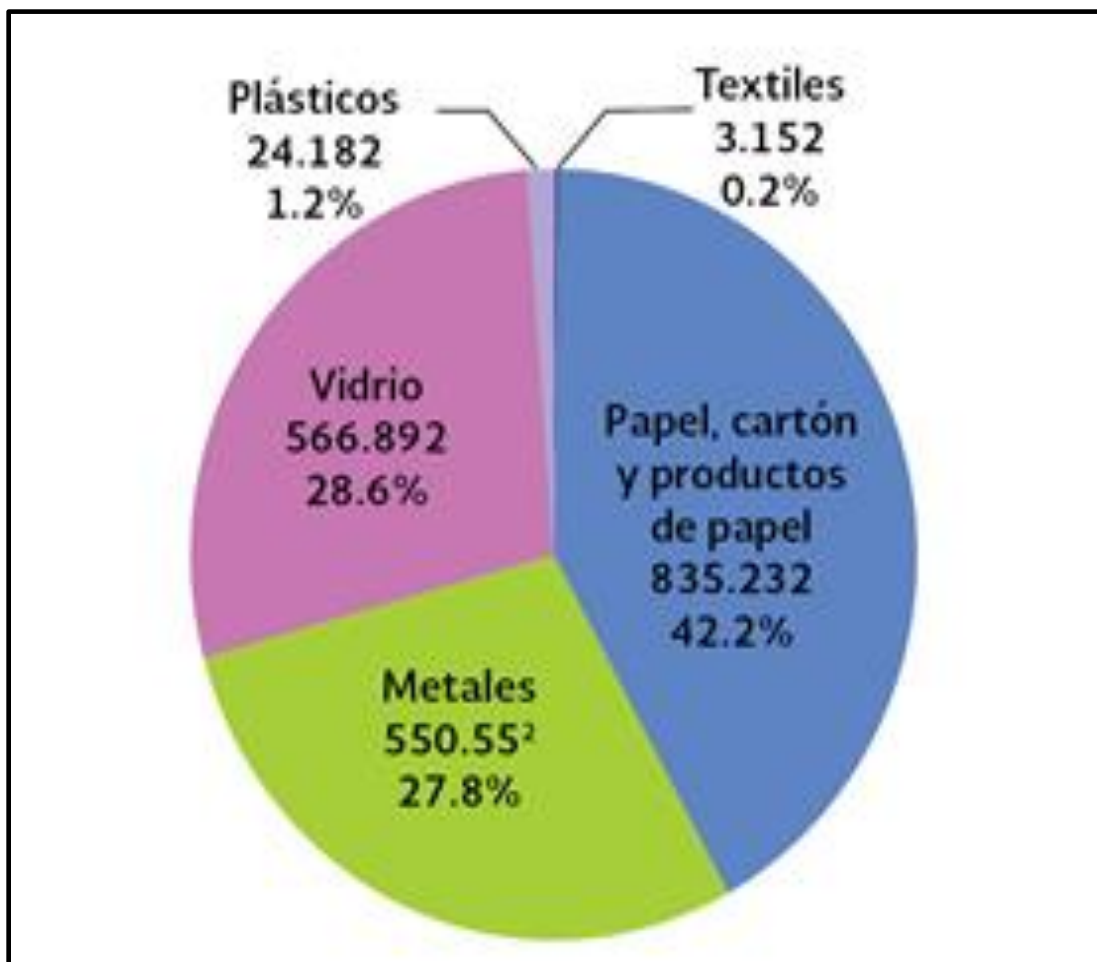


Figura 1.2 Composición de los RSU reciclados 2011 (SEDESOL, 2012b)

1.3.3 DISPOSICIÓN FINAL

La disposición final de los residuos se refiere a su depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones que permitan evitar su presencia en el ambiente y las posibles afectaciones a la salud de la población y de los ecosistemas. En el país se cuenta con dos tipos de sitios de disposición final: Los rellenos sanitarios y los rellenos de tierra controlados. Los rellenos sanitarios constituyen la mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos urbanos; este tipo de infraestructura involucra métodos y obras de ingeniería particulares que controlan básicamente la fuga de lixiviados y la generación de gases.

Por su parte, los rellenos de tierra controlados, aunque comparten las especificaciones de los rellenos sanitarios en cuanto a infraestructura y operación, no cumplen con las especificaciones de impermeabilización para el control de los lixiviados. La Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. De acuerdo a ella, los rellenos sanitarios deben:

- 1) Garantizar la extracción, captación, conducción y control de los gases generados.
- 2) Garantizar la captación y extracción de los lixiviados.
- 3) Contar con drenajes pluviales para el desvío de escurrimientos y el desalojo del agua de lluvia.
- 4) Controlar la dispersión de materiales ligeros, así como la fauna nociva y la infiltración pluvial.

En la Figura 1.3 se observan la cantidad de rellenos sanitarios en el país por entidad federativa.

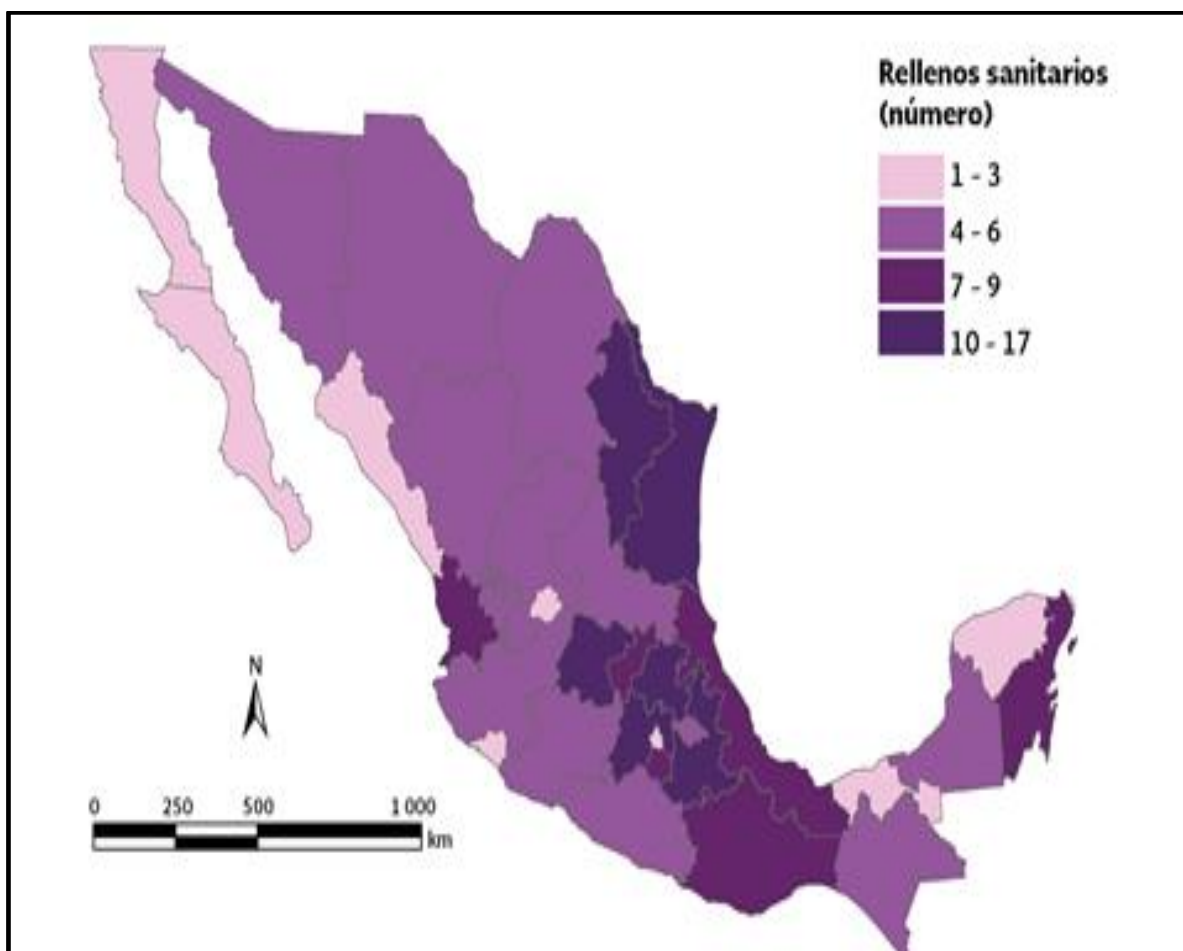


Figura 1.3.-Rellenos sanitarios por entidad federativa 2011 (SEDESOL, 2012c)

En 2011 se estimó que 72% del volumen generado de RSU en el país se dispuso en rellenos sanitarios y sitios controlados, el 23% se depositó en sitios no controlados y el restante 5% se recicló. Si se analiza por entidad federativa, en 2011 el Distrito Federal, Aguascalientes y Quintana Roo dispusieron la totalidad de sus residuos en rellenos sanitarios.

1.4 TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El manejo y tratamiento de los residuos sólidos es responsabilidad de todos los integrantes de la sociedad que los generan. Existen distintos procedimientos mecánicos, físicos, químicos, biológicos o térmicos, que se utilizan para cambiar las características de los residuos sólidos, reduciendo su volumen o peligrosidad, buscando la recuperación, reutilización y reincorporación de distintos materiales a procesos productivos y la optimización de los requerimientos para el manejo y disposición final de los que ya no son reutilizables (SEMARNAT, 2009). A continuación se presentan algunos de los métodos y tecnologías empleados en el tratamiento de residuos sólidos.

Los métodos de tratamiento de los residuos sólidos se pueden clasificar en varias formas como se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Métodos de tratamiento de RSU (Hernández, 2010)

De acuerdo al tipo de proceso que involucran	Conforme a los propósitos del tratamiento
Procesos físicos:	Recuperación de Materiales o Productos para Reusó o Reciclaje:
*Separación (manual o mecanizada) *Trituración *Separación magnética *Compactación	*Separación (manual o mecanizada) *Vitrificación *Compostaje *Pirólisis
Procesos químicos	Recuperación de energía
*Hidrólisis *Oxidación *Vitrificación *Polimerización	*Digestión * Incineración *Pirólisis
Procesos biológicos	Destrucción de agentes infectocontagiosos
*Compostaje * Digestión	*Incineración *Microondas * Esterilización

1.4.1 SEPARACIÓN (MANUAL O MECANIZADA)

Es muy usada para la recuperación de papel, cartón, vidrio, metales y otros productos que son sujetos de comercialización como materias primas para diversas industrias. La separación manual se practica en las fuentes generadoras, en los camiones recolectores de residuos sólidos y en los sitios no controlados de residuos sólidos que operan “a cielo abierto”. La separación magnética se utiliza a nivel industrial para separar materiales ferrosos. En Mérida,

Yucatán y en la Ciudad de México existen plantas procesadoras de residuos con separación mecanizada.

1.4.2 TRITURACIÓN

Es un proceso por medio del cual se reduce el volumen de los residuos para disminuir el costo del transporte. Forma parte del método de tratamiento por microondas de los residuos infecto-contagiosos. Se utiliza en las plantas de compostaje. En países desarrollados existe la práctica de utilizar un sistema de trituración en los rellenos sanitarios, con el propósito de alcanzar una mayor eficiencia en la compactación de los residuos sólidos para ampliar la vida útil de los sitios.

1.4.3 COMPACTACIÓN

Este método se utiliza principalmente en los rellenos sanitarios para el confinamiento definitivo de los residuos. La compactación se hace con maquinaria pesada en rellenos que disponen más de 40 Ton/día. El grado de compactación óptima en un relleno sanitario es de 700-800 Kg/m³. Para ciudades de menos de 50,000 habitantes se puede emplear equipo más sencillo o inclusive puede hacerse la compactación en forma manual. La compactación también se utiliza en los sistemas de recolección y transferencia de residuos sólidos, con el objeto de bajar los costos en el transporte

1.4.4 HIDRÓLISIS

Es un proceso mediante el cual se rompen los enlaces moleculares de los residuos agregando reactivos que pueden ser ácidos, bases, o enzimas. Los productos de la molécula rota pueden ser inocuos o bien requieren ser tratados posteriormente y con más facilidad para reducir su toxicidad. Este método se utiliza para el tratamiento de residuos peligrosos,

1.4.5 INCINERACIÓN

Es un proceso térmico orientado a la reducción en peso y volumen de los residuos sólidos a través de la combustión controlada de los mismos en presencia de oxígeno. Durante el proceso, los residuos sólidos se transforman en material sólido y en gases que se liberan a la atmósfera. Si dichos gases no se manejan adecuadamente, tienen como consecuencia directa la contaminación del aire en el medio. Los diseños más recientes contemplan la automatización del proceso y la recuperación energética. Se distinguen dos tipos de sistemas de incineración, esto según el tratamiento previo que se da a los residuos. En el primero se hace una eliminación en los residuos sólidos de los elementos que no tienen las propiedades de un combustible, además de que se reducen en tamaño antes de ser incinerados. En el segundo, conocido como incineración en masa, no hay tratamiento previo (IIUNAM, 2009).

1.4.6 PIRÓLISIS

Es el proceso fisicoquímico mediante el cual la materia orgánica de los residuos sólidos se descompone por la acción del calor, transformándola en una mezcla líquida de hidrocarburos, gases combustibles y residuos secos de carbón y agua. A diferencia de la incineración, la

pirólisis transforma la materia orgánica en un ambiente carente de oxígeno. Su principal objetivo es disponer de los residuos sólidos sanitaria y ecológicamente, disminuyendo su volumen al transformarlos en materiales sólidos, líquidos y gaseosos con potencial energético o para su uso como materias primas en diversos procesos industriales.

Algunos de los productos de alto contenido energético derivados de este proceso y que pueden ser usados como combustible son: El carbón, alquitrán, los gases de hidrógeno, nitrógeno, metano, etano, propano, butano, pentano, amoníaco, oxígeno, monóxido y dióxido de carbono. Algunos de los que se pueden utilizar como materia prima son: Aceites ligeros (mezclas de benceno, tolueno, xileno y otros), sales y metales. En Estados Unidos de América, Alemania y Japón, es en donde se han instalado este tipo de plantas. Estas no alcanzan niveles comerciales, es decir, son diseñadas para industrias particulares. Esto se debe a su costo y a que la tecnología para implementarlas está en desarrollo (SEDESOL, 2001).

1.4.7 COMPOSTAJE

Este proceso consiste en descomponer o fermentar por acción biológica a los residuos sólidos, aprovechando los microorganismos presentes en ellos (bacterias y hongos). El producto de esta proceso es un material blando de color café oscuro parecido a la tierra de hoja conocido como compost, humus o abono. Este material tiene propiedades que mejoran la estructura y textura de los suelos en los que se aplica.. Los residuos que son más factibles para ser tratados son el estiércol, los residuos vegetales y los desechos de comida. En general, la obtención de abono tras este proceso oscila entre el 35 y el 40% de los residuos tratados originalmente, independientemente del método utilizado (SEDESOL, 2001).

1.4.8 DEGRADACIÓN ANAEROBIA

La degradación anaerobia es un proceso biológico complejo, que consiste en la descomposición de materia orgánica con contenido fermentable mediante una serie de reacciones químicas producto de la acción de ciertas bacterias, en un medio en el que no hay presencia de oxígeno. A lo largo del proceso, más del 90% de energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, mientras que el 10% restante se consume en el crecimiento bacteriano (Varnero, 2011). Estas características permiten su uso para transformar residuos ganaderos, agrícolas, así como efluentes con alta carga orgánica (aguas residuales) de industrias alimentarias, fermentativas, papeleras y de algunas químicas, en biogás y compost.

La materia orgánica puede degradarse de manera independiente o en conjunto. Esta se recomienda cuando un residuo compensa las carencias de otro para que la degradación se pueda llevar a cabo o sea más eficiente. Ejemplo de ello es la mezcla de residuos sólidos urbanos con lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que éstos cubren la deficiencia de nutrientes de los primeros.

CAPÍTULO 2 FUNDAMENTOS

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 en condiciones normales llenarían un contenedor de 200 litros, sean convertidos en un tanque o block de tan solo 18 L. 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, pero 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 compresión se aplican fuerzas denominadas de compresión que se aplican en forma perpendicular a la superficie del material, como se visualiza en la Figura 2.1. Este método se ocupa para la reducción de sólidos duros, obteniéndose poca cantidad de partículas finas.

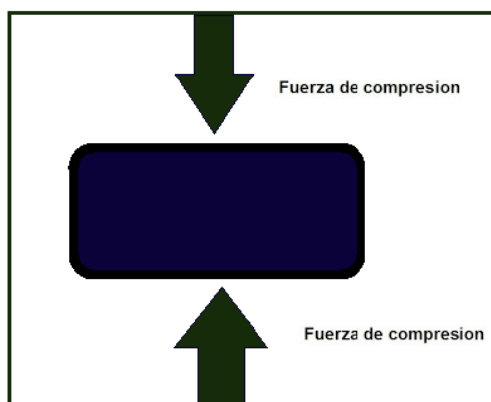


Figura 2.1 Fuerza de compresión (Elaboración a partir de Ramos, 2013)

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. 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.

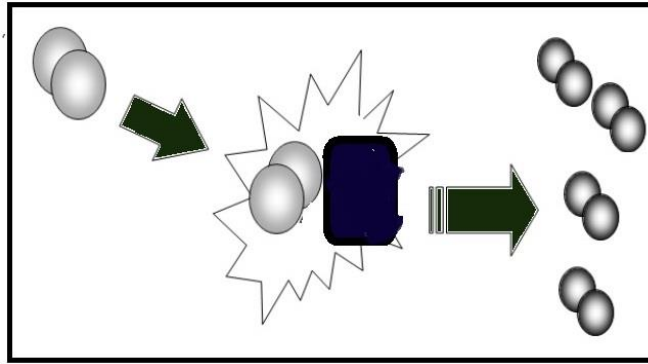


Figura 2.2 Fragmentación por impacto (Elaborado a partir de Ramos, 2013)

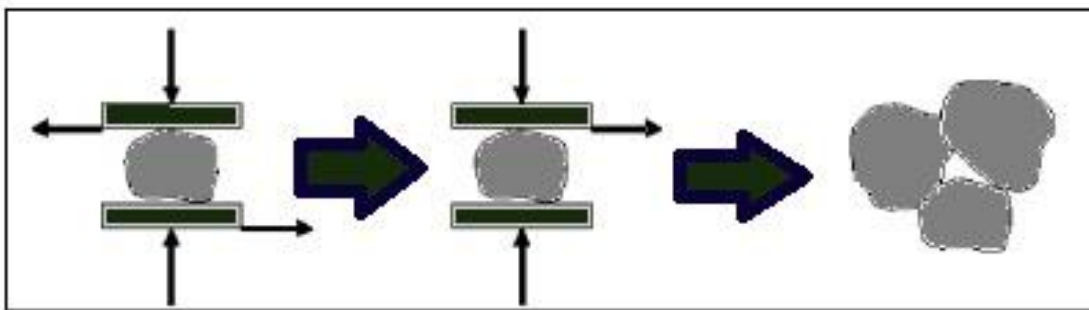


Figura 2.3 Fragmentación por cizalla (Elaboración a partir de Vásquez, 2013)



Figura 2.4 Fragmentación por corte (Elaboración a partir de Ramos, 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

trituration primaria y 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 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	Cascañueces
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 y col., 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).

Hills y Nakao (1984) trabajaron con desechos de tomate picados con un tamaño de partícula de 1.3 a 20 mm, reportando que 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.

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). En la planta de biogás del restaurante cibarium se utiliza este tipo de triturador, con 1 hp de potencia. Las materias 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.

Los trituradores de comida están hechos en su mayoría de acero inoxidable, ya que trabajan con materia orgánica lo cual provocaría la oxidación y rápido desgaste de un acero común. Este tipo de trituradoras está compuesto por 12 partes principales. A continuación, se muestra en la Figura 2.5, 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 cm², la cual limita el tamaño de los desechos sólidos urbanos a introducir. También cuenta con una llave Allen (1/4”) 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.

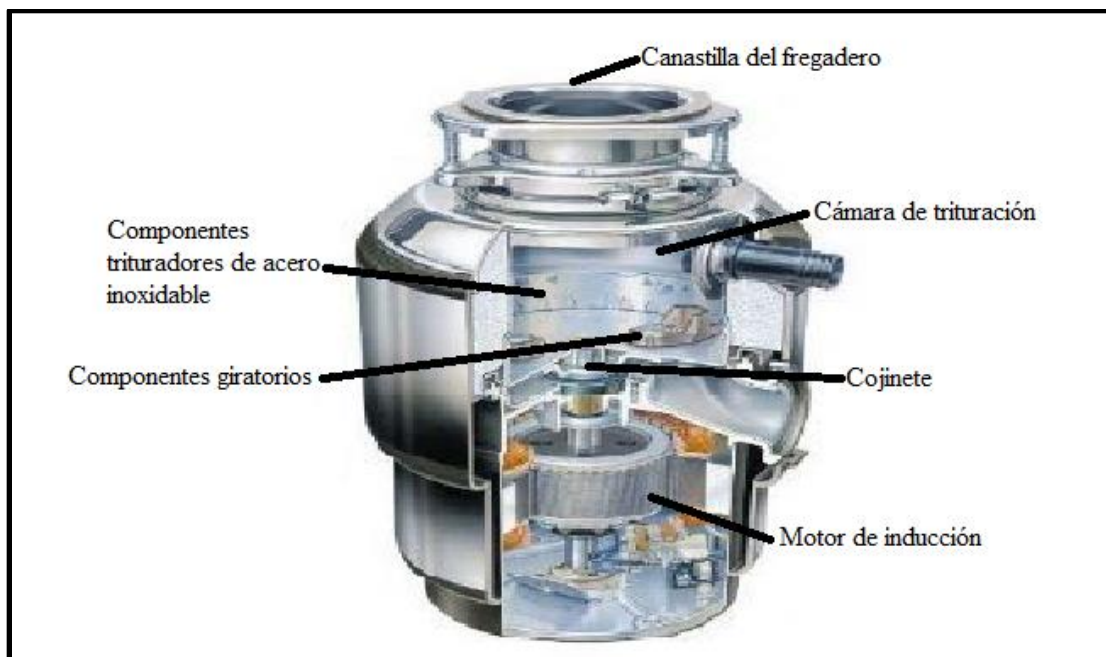


Figura 2.5 Partes de un triturador de comida (Insinkerator, 2015)

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 2.6 se observa el funcionamiento, primero el material para alimentar la máquina 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 a reducir permitiendo reducir el desgaste en rodamientos y martillos.

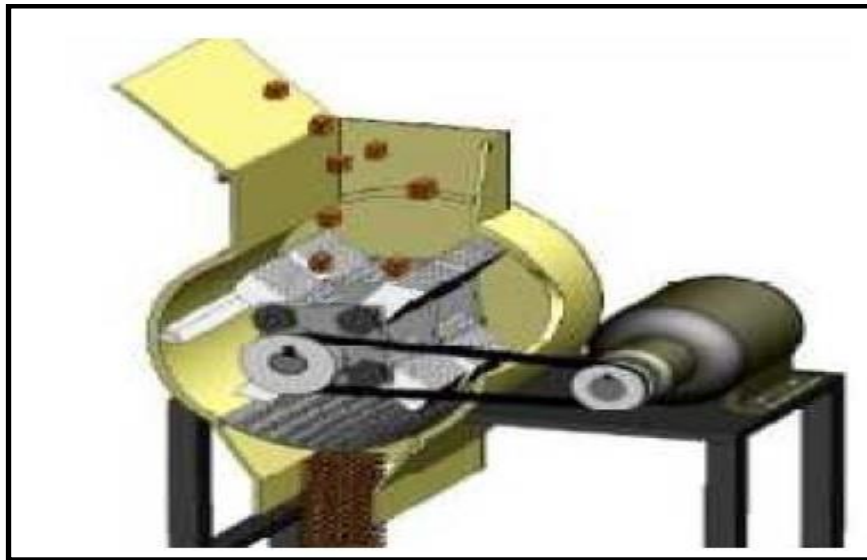


Figura 2.6 Molino de martillos (Ramos, 2013)

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. 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 atraviere 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 2.7 se muestra un molino de la marca RESTCH.



Figura 2.7 Molino de discos (Retsch, 2015)

Algunos de los materiales a triturar son , carbón, cerámicas dentales, cerámicas sinterizadas, coque, cuarzo, escorias, esteatita, ferroaleación, granito, hidroxiapatita, 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 tritución 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 2.8 se puede observar los diferentes tipos de rotores.

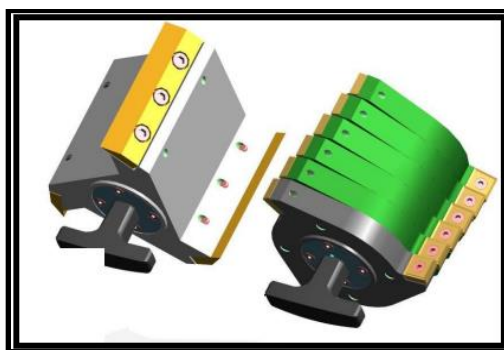


Figura 2.8 Rotor de corte paralelo y rotor de 6 discos (Retsch, 2015)

Los molinos de corte han sido concebidos para la tritución 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 2.9 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.

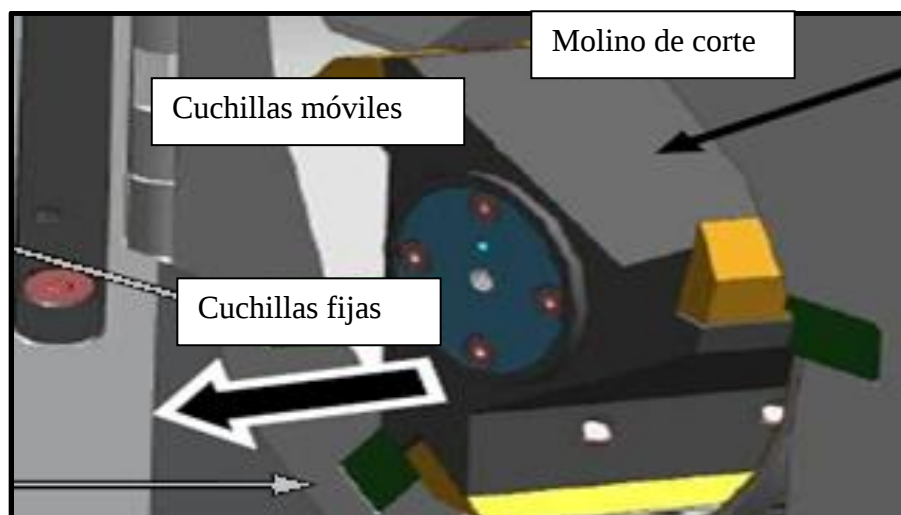


Figura 2.9 Molino de corte (Restch, 2015)

Ejemplos de aplicación del molino de corte son alimentos, basura electrónica, cartón, cuero, drogas, especias, forrajes, goma, huesos, lignito, madera, paja, papel, plásticos, plantas, resinas, 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 método de reducción (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, 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 y secos	Elaboración de cemento

CAPÍTULO 3 ESTUDIO DE CASO

3.1 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 3.1 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 3.1 Residuos recolectados (Grimaldo, 2013)

Para la preparación del sustrato se cuenta con un triturador doméstico de residuos orgánicos como se aprecia en la Figura 3.2 marca Insinkerator (modelo 200-4) de 1HP, cuya capacidad de cámara de molienda es de 1.1 Kg y funciona con un motor monofásico de 1,200 Watts. Los elementos de la cámara de molienda son de acero inoxidable y su peso es de 11 kg aproximadamente.



Figura 3.2 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 mismos 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 3.3



Figura 3.3 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, observado 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 recordará 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 (Figura 3.4) 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 3.4 Tanque receptor y de preparación de la alimentación al reactor (Grimaldo, 2013)

La bomba instalada es de desplazamiento positivo y cavidad progresiva (helicoidal de rotor excéntrico) marca Moyno, modelo 35651 (Figura 3.5) 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 3.5 Bomba 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 las Figura 3.6 y 3.7 se pueden apreciar ambos reactores.



Figura 3.6 Reactor R-1 (Grimaldo, 2013)



Figura 3.7 Reactor R-2 (Grimaldo, 2013)

Cada uno de los reactores cuenta con tubería polietileno de alta densidad (PEAD), 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 elementas (S). En la Figura 3.8 puede observarse el desulfurador instalado. Posteriormente, el biogás pasa por un condensador, el cual retira la húmeda 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 (Figura 3.9).



Figura 3.8 Desulfurador de biogás (Grimaldo, 2013)



Figura 3.9 Condensador (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 3.10. 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 3.10 Medidor de gas (Grimaldo, 2013)

El biogás generalmente se almacena en condiciones atmosféricas 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 3.11).



Figura 3.11 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 (Figura 3.12), 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 funcionará como válvula de alivio.



Figura 3.12 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.

3.2 PROBLEMÁTICA A RESOLVER

El paso de molienda es el mecanismo que requiere más tiempo y esfuerzo humano de todo el proceso en la planta de biogás. Este paso consiste en reducir el tamaño del desecho de 20 a 1 cm aproximadamente. La acción de aplastamiento se realiza manualmente con la ayuda de una cuchilla y luego los desechos triturados son descargados a una eliminación de basura de Insinkerator con un motor 1HP. La operación debe ser suspendida por atascos frecuentes en la cámara de molienda. La disposición de los microorganismos al material de alimentación sólido y la hidrólisis de componentes poliméricos complejos constituyen la etapa limitante en los procesos biológicos y, por tanto, es importante y necesario mejorar la etapa de trituración. Por esta razón, se decidió construir una máquina trituradora para optimizar el proceso anaerobio.

Un posible escenario para optimizar y reducir el tiempo de trituración sería ideal la compra de una máquina de trituración de marca Retsch, fabricada en Alemania. Tiene un valor aproximado de 5,287 dls, pero debido a que el valor de la máquina trituradora representa más del 80% del valor total de la planta de biogás (Juárez, 2015), se decidió diseñar y construir una trituradora.

CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA

En este trabajo se aplicó la metodología QFD. 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.

4.1 METODOLOGÍA QFD

Para entender la problemática se utilizó la metodología de despliegue de funciones de calidad QFD (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).

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.

Podemos 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 4.1 se muestra un diagrama de bloques de la metodología QFD.

Este espacio se dejó intencionalmente en blanco

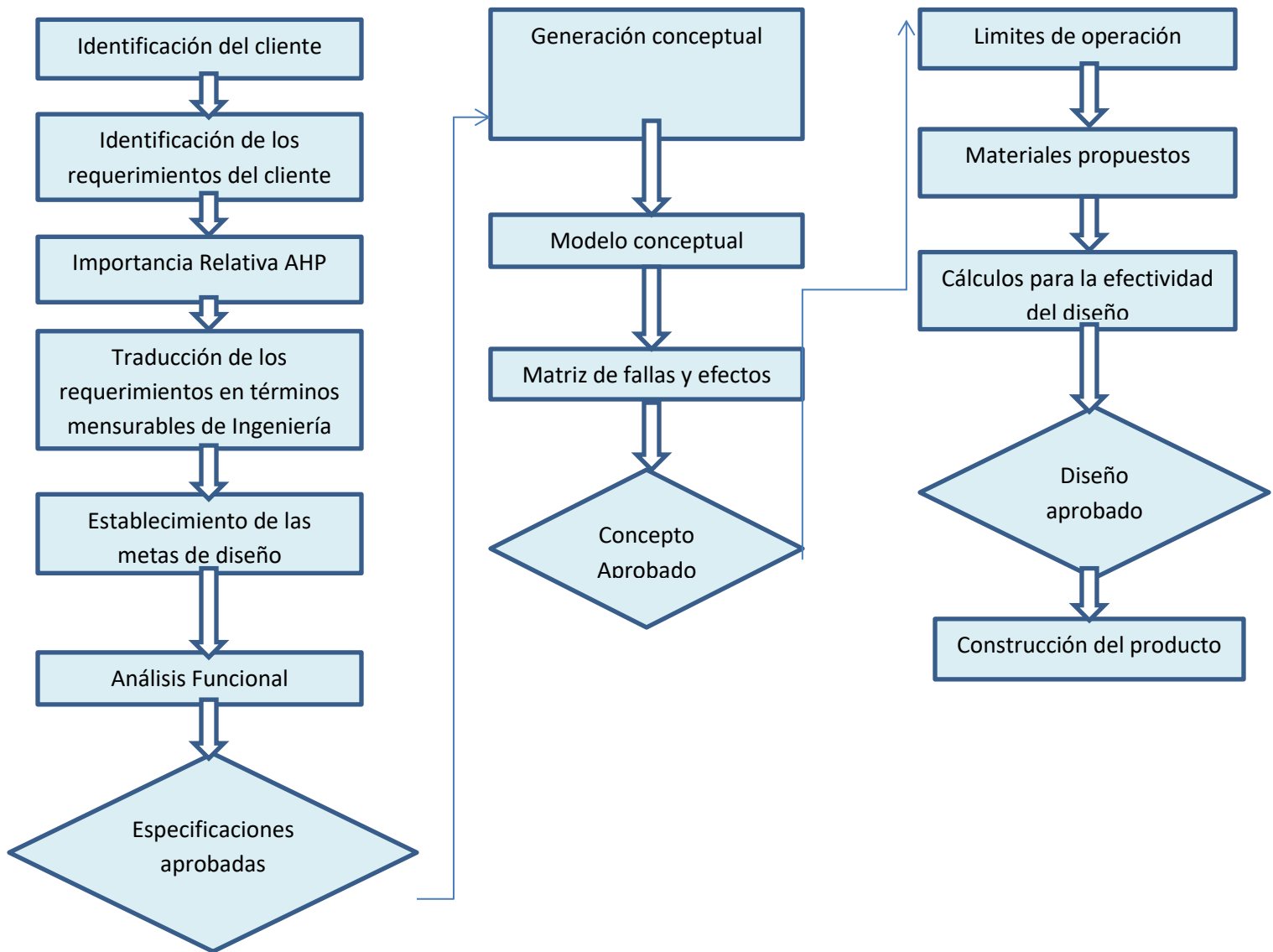


Figura 4.1 Diseño de bloques para la metodología de diseño QFD (modificado de Delgado, 2010)

4.2 ESPECIFICACIONES

4.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Tomando en cuenta la definición “Un cliente es todo aquel que sea impactado por el producto o por el procesos” (Juran, 1996). De acuerdo con la definición para la identificación del cliente es necesario asimilar a todas las personas que estén relacionadas con los desechos orgánicos (desechos de cáscaras como frutas y verduras), hay que identificar 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 como es la planta de biogás. 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.

4.2.2 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 permiten cierta flexibilidad, de manera que su cumplimiento puede ser parcial o de una forma no se cumpla en su totalidad el producto seguirá considerándose satisfactorio.

Una clasificación de requerimientos se puede dividir en 7 tipos: Económicos, funcionales, espaciales, de apariencia, manufactura, conservación y seguridad

De acuerdo a la experiencia adquirida en la operación de la planta de biogás durante los estudios de la Maestría en Energía 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 RSU que procesa la planta de biogás?

Aproximadamente 60Kg/día

2 ¿Cómo se seleccionan los RSU 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 de la 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 RSU?

De 5 a 30 cm²

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

Si

5 ¿De qué tipo?

Trifásica 220V y bifásica 220.

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

Con la experiencia trabajando en la planta de biogás y respuestas las anteriores preguntas se plantearon los siguientes requerimientos. Considerando que los requerimientos de diseño son independientes de la apariencia del dispositivo. En la Tabla 4.1 se clasifican los requerimientos del cliente de acuerdo a su naturaleza (Económicos, funcionales, espaciales, de apariencia, manufactura, conservación y seguridad)

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

Requerimientos	Descripción
Económicos	Que su costo oscile alrededor de los \$10,000 MX.
Funcionales	Debe tener un motor de 1 a 3 Hp. Periodo de trabajo menor a 1 hora. Trituración de distintos tipos de materia orgánica Que se opere con minino personal Evite la vibración lo máximo posible Que tenga un triturado uniforme de 1cm a 2cm. Energía de operación eléctrica
Espaciales	Un equipo de dimensiones reducidas, menos de 2m ² Fácil de transportar
Apariencia	Buena presentación
Manufactura	Que los materiales para su construcción 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 minino de piezas
Conservación	Que tenga un tiempo de vida del equipo largo. Que sus cuchillas sean duraderas
Seguridad	Debe ser segura

Ahora se procede a clasificar los requerimientos obligatorios, cuyo cumplimiento es indispensable para el buen diseño de la trituradora. Sin ellos el producto no podría considerarse satisfactorio en ningún grado. En la Tabla 4.2 toma los requerimientos obligatorios de la Tabla 4.1 y los clasifica de acuerdo si son medibles o no, además se le asigna una clave para su fácil reconocimiento, por el ejemplo, el requerimiento obligatorio de “trituración de distintos tipos de materia orgánica”, no se puede medir por lo tanto se le clasifica en no medibles y se le asigna la clave RO1. El requerimiento de “evitar la vibración lo máximo posible”, es posible medir ese requerimiento ya que la vibración va asociada a una velocidad de operación de la trituradora, por lo tanto se clasifica en los requerimientos medibles y se asigna la clave RO2.

Tabla 4.2 Requerimientos obligatorios (Guadalupe, 2009)

	Requerimientos obligatorios	Medibles	No medibles
RO1	Trituración de distintos tipos de materia orgánica		*
RO2	Evitar la vibración lo máximo posible.	*	
RO3	Que tenga un triturado uniforme de 1cm a 2cm.	*	
RO4	Energía de operación eléctrica	*	
RO5	Que los materiales para su construcción sean fáciles de adquirir.		*
RO6	Que sus cuchillas sean duraderas	*	
RO7	Debe ser segura		*
RO8	Fácil de operar		*
RO9	Periodo de trabajo menor a 1 hora.	*	
RO10	Que su costo oscile alrededor de los \$10 000.00	*	
RO11	Que sea fácil de manufacturar		*
RO12	Que tenga un buen acabado		*

Procederemos a clasificar los requerimientos deseables, cuyo cumplimiento no es indispensable para el buen diseño de la trituradora, sin ellos el producto aún podría considerarse satisfactorio. En la Tabla 4.3 toma los requerimientos deseables de la Tabla 4.1 y los clasifica de acuerdo si son medibles o no, además se le asigna una clave para su fácil reconocimiento.

Tabla 4.3 Requerimientos deseables (modificado de Guadalupe, 2009)

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

4.3.3 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.

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).

Los requerimientos deseables se ponderan uno a uno contra sí mismos por medio del proceso AHP, para esto se asigna un valor numérico de acuerdo a la importancia de los requerimientos utilizando la Tabla 4.4, para el caso particular de este trabajo la ponderación llevada a cabo se presenta en la Tabla 4.5 y se normaliza dividiendo cada columna de requerimientos por su respectivo valor total, como se muestra en la Tabla 4.6.

Tabla 4.4 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 4.5 Matriz comparativa de requerimientos (modificado de Delegado, 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 4.7.

Tabla 4.6 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

Tabla 4.7 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 tenga un tiempo de vida del equipo largo.
3	0.23	RD7 Que tenga un minino de piezas
4	0.10	RD1 Debe tener un motor de 1 a 3 Hp
5	0.07	RD 2Que se opere con minino 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

4.3.4 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**. 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 4.8.

Tabla 4.8 Traducción de los requerimientos del dispositivo en términos mensurables 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 Tamaño del producto final	cm ²
RO5 Que los materiales para su construcción sean fáciles de adquirir.	Disponibilidad en el mercado nacional	# 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	# de personas para operar la maquina	Cantidad
	# de operaciones para operar la maquina	Cantidad
RO10 Que su costo oscile alrededor de los \$10,000MX	Costos de las piezas	\$
	Costo del ensamble	\$
RO11 Que sea fácil de manufacturar	Tiempo de fabricación	S
	Costo de fabricación	\$
RO12 Que tenga un buen acabado	Intervalo de tolerancias	cm
RD5 Que sea fácil de ensamblar.	# de elementos	Cantidad
	# de personas para ensamblar	Cantidad
	Tamaño de los elementos	cm ³
RD8 Que tenga un tiempo de vida del equipo largo.	Tipo de material	Na
	Tiempo de operación	S
RD7 Que tenga un minino de piezas	# de piezas	Cantidad
RD 2Que se opere con minino personal	# de personas	Cantidad
RD4 Fácil de transportar	Espacio	m ³
	Masa total del dispositivo	Kg
RD3 Un equipo de dimensiones reducidas	Tamaño de los componentes	cm ²
RD6 Debe ser ligera	Peso de los componentes	N

4.3.5 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”. El establecimiento de las metas de diseño se lleva a cabo en la Tabla 4.9, 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.

Tabla 4.9 Metas de diseño para la trituradora (modificado de Delgado, 2010)

Metas de diseño	
Requerimientos	Especificaciones
Trituración de distintos tipos de materia orgánica	Trituración de 60 Kg/h Fuerza de corte de 400N Área triturado 30cm ²
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 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 m ² 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 tenga un tiempo de vida del equipo largo.	Acero inoxidable 304

4.3.6 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.

Por lo general el producto debe cumplir con utilizar energía eléctrica, transformarla en energía mecánica para la trituración de desechos orgánicos domésticos. A continuación se muestra la Figura 4.2, donde nos indica las entradas y salidas que debe tener nuestro producto.

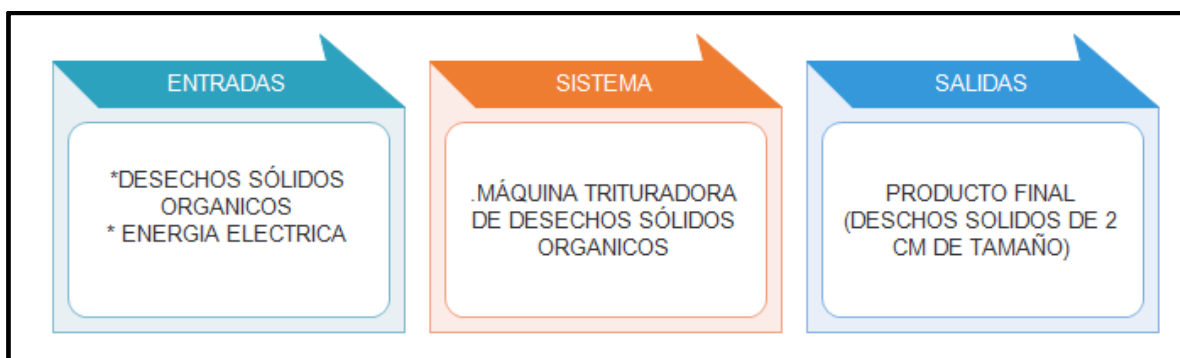


Figura 4.2 Diagrama funcional (modificado de Martínez, 2009)

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 4.10, 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 4.10 Representación de los parámetros presentes en el prototipo de trituradora (Martínez, 2009)

Parámetro	Estado inicial	Estado final
Materia	Desechos sólidos orgánicos (Distintos tamaños 5-30cm)	Desechos sólidos orgánicos, Tamaño uniforme 2 Cm
Energía	Energía eléctrica 220 V	Energía mecánica Calor, Ruido
Información	Arranque/ Paro	Arranque/Paro

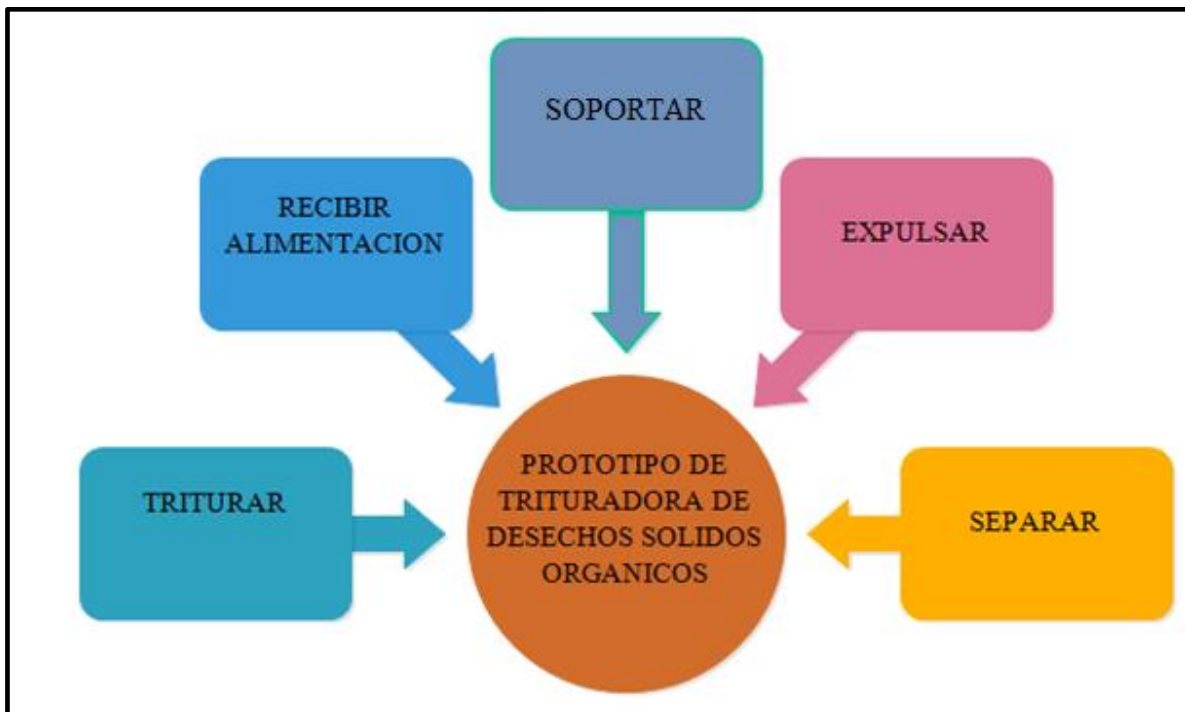


Figura 4.3 Funciones principales del prototipo de trituradora (elaboración a partir de Martínez, 2009)

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

Soportar.- 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 obtuvo algunas respuestas de lo que puede pasar dentro del equipo, al conocer 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.

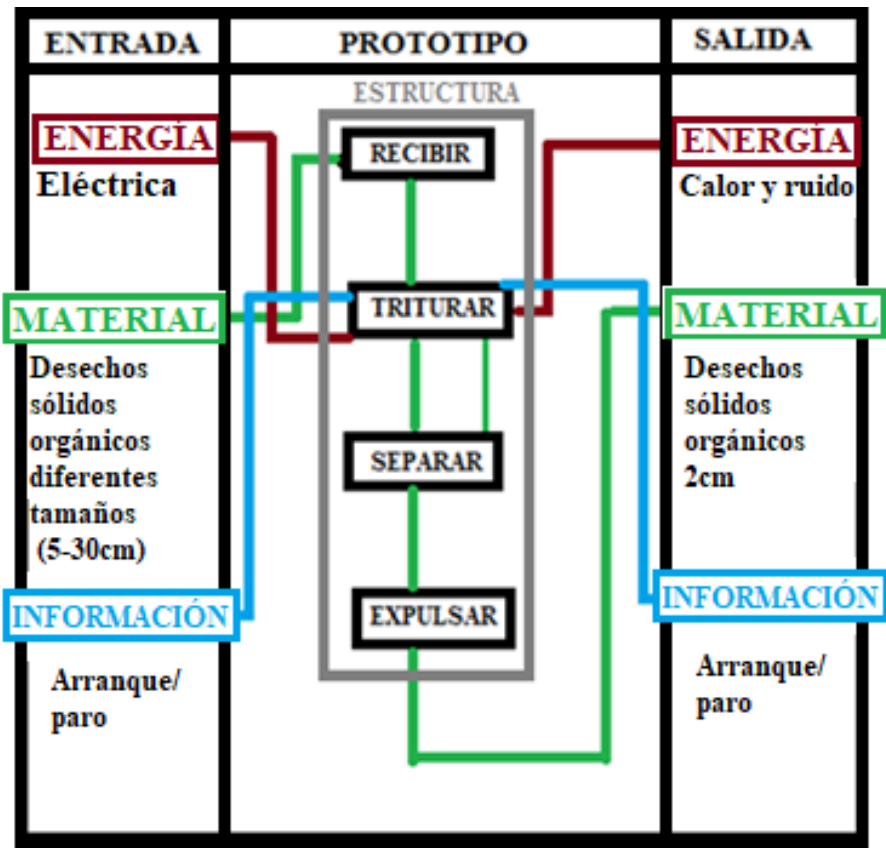


Figura 4.4 Funciones de servicio y sus interrelaciones (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Este espacio se dejó intencionalmente en blanco

CAPITULO 5 RESULTADOS

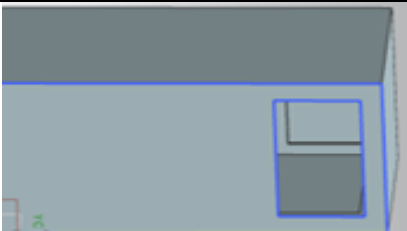
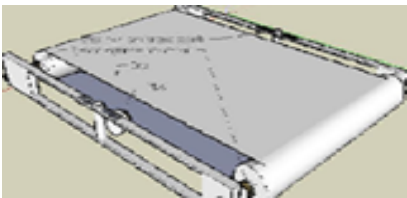
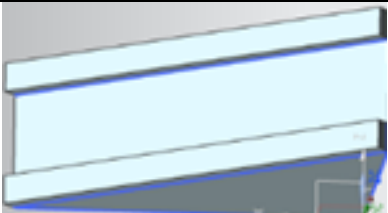
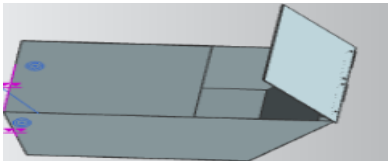
5.1 DISEÑO CONCEPTUAL

Una vez establecidas las funciones se procede a centrar la atención en definir exclusivamente las funciones necesarias para lograr cumplir los requerimientos del cliente.

5.1.1 FUNCIÓN RECIBIR

Ahora se analizan opciones para crear y plantear las funciones antes mencionadas. La cuales se muestran en la Tabla 5.1. La opción 4 es la mejor, ya que cumple con más requerimientos del cliente que son materiales de fácil obtención, seguridad para el usuario, dimensiones reducidas y fácil ensamble.

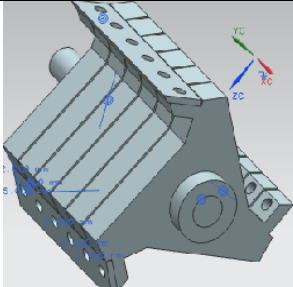
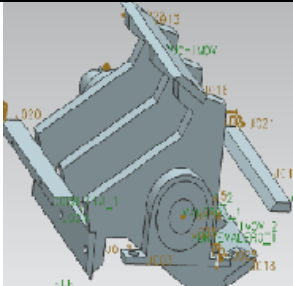
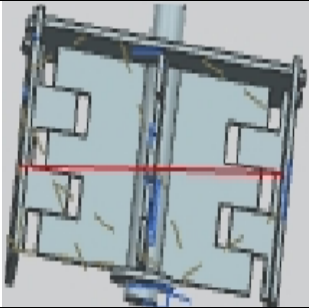
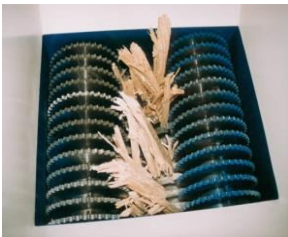
Tabla 5.1 Opciones para satisfacer la función recibir y bocetos para la función recibir (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Función		
Recibir	Bocetos para la función recibir del prototipo de la trituradora	Descripción
Opción 1 Tolva cuadrada		Permitirá introducir los desechos orgánicos en la trituradora de manera segura, ya que evitara el contacto directo con la cámara de trituración.
Opción 2 Banda transportadora		Dirige los desechos irán hasta la cámara de trituración, facilitando su preselección. Ocupa demasiado espacio y es costosa
Opción 3 Rampa lisa		Dirige los desechos hacia la cámara de trituración, pero no limita el contacto con los rotores.
Opción 4 Tolva mixta		Protege al usuario de los rotores, evita que los desechos salgan volando

5.1.2 FUNCIÓN TRITURACIÓN

En la Tabla 5.2, Se muestra el planteamiento de opciones para la función triturar, donde los desechos sólidos orgánicos obtienen su tamaño deseado. Para realizar algunos conceptos se utilizó el software de diseño NX 7.5. 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.

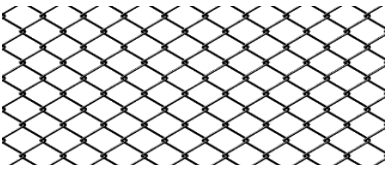
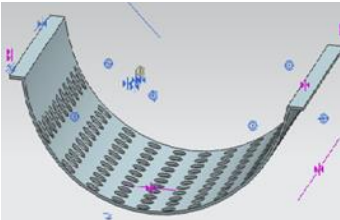
Tabla 5.2 Planteamiento de opciones y bocetos para satisfacer la función triturar (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Función		
Triturar	Bocetos para la función recibir del prototipo de la trituradora	Descripción
Opción 1 Rotor continuo		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.
Opción 2 Rotor discontinuo		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.
Opción 3 Cuchillas paralelas		Es muy fácil de manufacturar, pero tiene una mala eficiencia de corte, por su amplia área de corte, tiende a atascarse
Opción 4 Engranajes		Tritura una amplia gama de materiales, posee una gran cantidad de piezas y es muy costoso.

5.1.3 FUNCIÓN SEPARAR

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 5.3 se muestran opciones generadas para esta función. La opción 4 es la mejor, ya optimiza la trituración al reducir al máximo el espacio entre las cuchillas y la criba, además da seguridad al usuario al limitar el acceso a la cámara de trituración.

Tabla 5.3 Opciones para satisfacer la función separar (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Función		
Separar	Bocetos para la función recibir del prototipo de la trituradora	Descripción
Opción 1 Criba plana		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.
Opción 2 Sin criba		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.
Opción 3 Reja		La reja es económica y fácil de ensamblar, pero no define el tamaño deseado del producto final.
Opción 4 Criba media luna		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.

5.1.4 FUNCIÓN EXPULSAR

Para la función expulsar, se evaluaron varias ideas, las cuales se presentan en la Tabla 5.4. La opción 4 es la mejor, ya que permite expulsar los sólidos sin añadir un costo a la producción de la trituradora.

Tabla 5.4 Opciones para satisfacer la función expulsar (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Función		
Expulsar	Bocetos para la función recibir del prototipo de la trituradora	Descripción
Opción 1 Presión de aire		Permite expulsar los sólidos a gran velocidad, una compresora tiene un alto costo, y un mantenimiento frecuente
Opción 2 Aspiradora		Aspira los sólidos de tamaño deseado hacia fuera de máquina
Opción 3 Caída libre		Los sólidos de tamaño deseado caen fuera de la trituradora por medio de gravedad
Opción 4 Vibración del corte		Debido a la vibración los sólidos son desplazados hacia afuera. La vibración es producida al chocar los sólidos con la cuchilla.

Finalmente, con las funciones evaluadas se procede a realizar un modelo conceptual del prototipo de trituradora, ensamblado dichas funciones. Además, se adicionan componentes para satisfacer lo planteando en la sección de detalles de diseño y se afinan características con la intención de tener un concepto, plenamente satisfactorio. La trituradora de desecho orgánico está compuesta por una tolva de entrada de aluminio, la cual tiene 4 orificios ubicados en la parte inferior de la misma y esta acoplada por 4 tornillos, en los 4 orificios de la parte superior de la cámara de trituración la cual esta hecha de acero inoxidable. Asimismo consta de una tolva de salida, la cual, tiene 4 orificios ubicados en la parte superior y están acoplados por 4 tornillos en los 4 orificios de la parte inferior de la cámara de trituración. Además tienen una dimensión grande para evitar el contacto manual con la zona de trituración como se puede observar en la Figura 5.1.

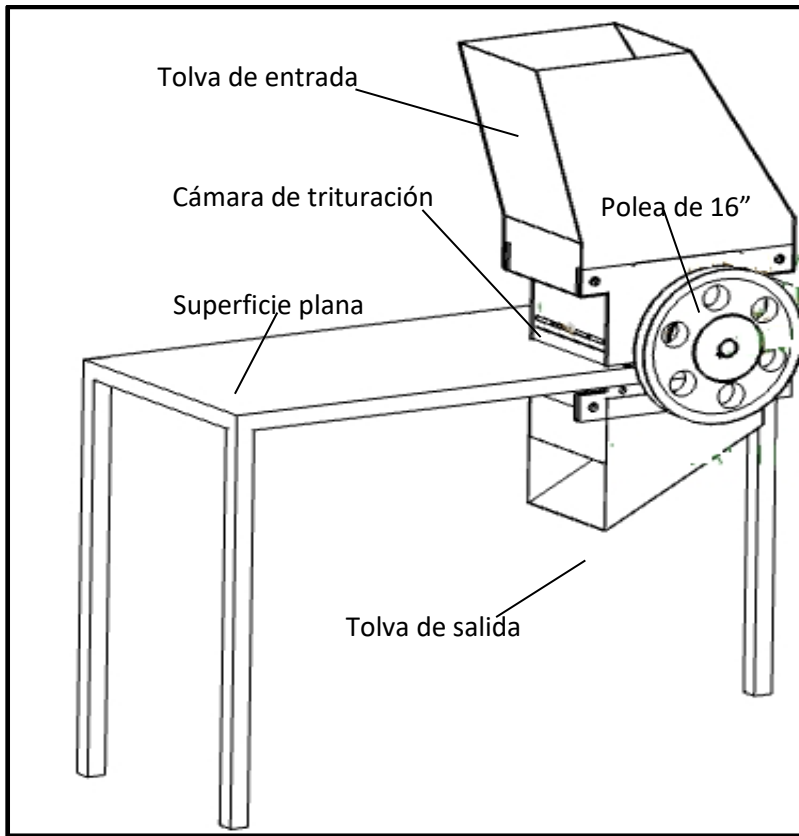


Figura 5.1 Vista en perspectiva de la trituradora acoplada a una superficie plana.

Las cuchillas fijas están hechas de acero inoxidable y tienen un chaflán de 45 grados, las cuchillas están acopladas en la parte central de las paredes laterales de la cámara de trituración. La criba está hecha de aluminio y tiene dos pestañas en sus extremos lo cual permite el acople en la parte central de las paredes laterales de la cámara de trituración como se muestra en la Figura 5.2

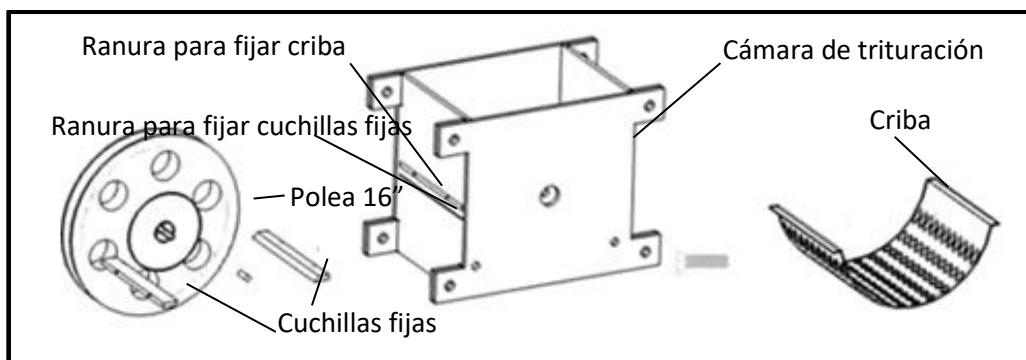


Figura 5.2 Explosión del ensamble de las cuchillas fijas, criba, polea y cámara de trituración.

Las chumaceras tienen 2 orificios en la parte inferior, lo cual, permite fijarlos con 2 pernos en cualquier superficie plana con una ranura rectangular, que permita acoplar la trituradora, cuidando siempre que estén perfectamente alineados permitiendo fijar el eje axialmente.

El eje tiene una ranura en un extremo que permite que entre la cuña en la que acopla a la ranura de la polea, después se acopla a una chumacera de tal manera que no haya desplazamiento axial, seguido pasa un orificio que está medio de una de las paredes de la cámara de trituración, sin tocarla para evitar rozamiento, después se le acoplan tres rotores los cuales tienen una ranura en la parte central, por medio de su respectiva cuña en la que se acoplan en las tres ranuras correspondientes del eje, después pasa por la segunda pared de la cámara de trituración y por último se acopla a la segunda chumacera. Los tres rotores tienen orificios en cada uno de sus extremos donde llevan acopladas tres cuchillas las cuales tienen 3 orificios, uno para cada rotor, como se muestra en la Figura 5.3.

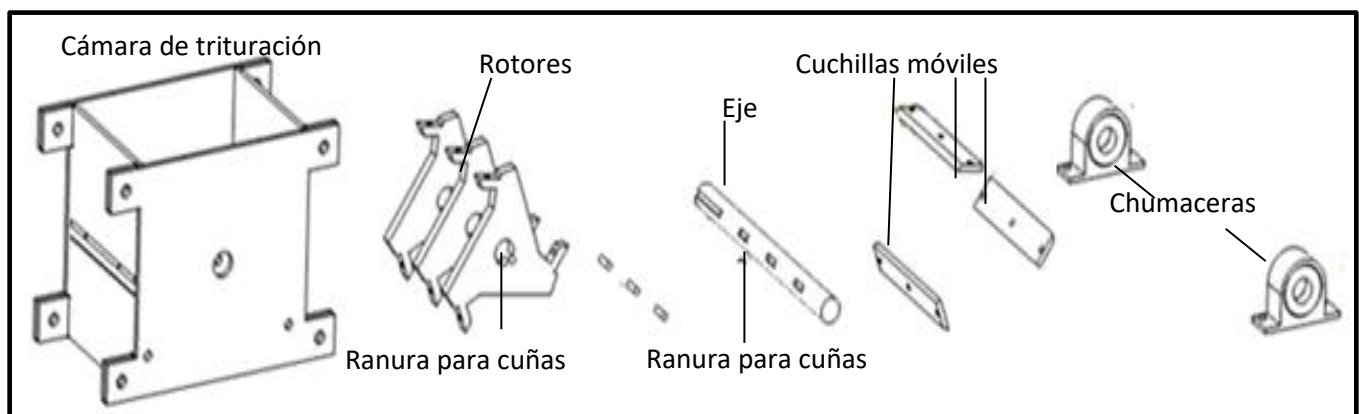


Figura 5.3 Explosión del ensamblaje de la cámara de trituración, rotores, cuñas, eje, cuchillas móviles y chumaceras.

En la Figura 5.4 se muestra el ensamblaje de los 3 rotores de acero inoxidable 304, los cuales están alineados y distribuidos de tal manera, tener un amplia área de corte, ya que en su tres extremos están fijas las tres cuchillas móviles. La carcasa tiene un grosor de $\frac{1}{4}$ in de acero inoxidable y tiene acoplado dos cuchillas para permitir el corte de material con las cuchillas de los rotores. Esta 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 16 in para transmitir el torque del motor.

Este espacio se dejó intencionalmente en blanco

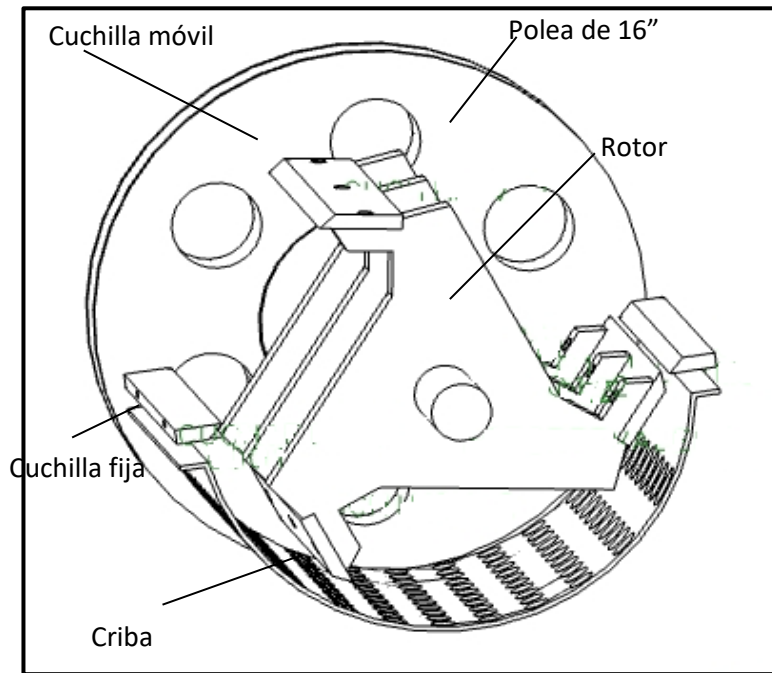


Figura 5.4 Ensamble de los rotores, cuñas, eje, cuchillas móviles, cuchillas fijas, criba y polea.

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 denominada “*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 5.5. 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 5.5 Modo de puntuación para la matriz de fallos y efectos (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Símbolo	Puntuación	Relación
	9	Alta
	3	Media
	1	Baja

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 se habría que diseñar con especial cuidado, de cara al riesgo de fallo, serían que resultaron con un porcentaje alto. En la Tabla 5.6 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.

Tabla 5.6 Matriz de fallas y efectos aplicada al dispositivo (elaboración a partir de Delgado, 2010)

Componente/ Falla	Importancia relativa	Vibración	No trit ura	Atasca r	Dispositivo inseguro	Corrosión	Desgaste	TOT	%F
Eje	8							152	12.1
Criba	8							120	9.6
Cámara de trituración	7							70	5.6
Polea 16"	6							24	1.9
Motor	8							48	3.8
Soporte	7							28	1.9
Valeros	7							28	1.9
Tornillos	8							96	7.7
Cuchilla	8							144	11.5
Cuña	9							243	19.4
Rotores	9							270	21.5

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.

5.2 DISEÑO DE DETALLE

En este capítulo, se generaron los planos de construcción, los cuales dan pauta para obtener el producto terminado. Asimismo, se analizaron las partes críticas del prototipo de trituradora.

5.2.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

Debido a que uno de los requerimientos del cliente es que sea lo más económica posible, gestionamos que se donara dicho motor por parte de la empresa “Confeciones Géminis” la cual dono un motor eléctrico de 1hp y de 1700 rpm.

Se utilizaron las siguientes fórmulas para precisar los parámetros para el motor :

$$T=P/w.....ec (5.1)$$

$$F=T/r.....ec (5.2)$$

Donde la ecuación 5.1 es para calcular el torque del motor (N*m) y se obtiene dividiendo la Potencia (w) entre las revoluciones por segundo (1/s). Con la ecuación 5.2 se obtiene la fuerza aplicada en la cuchilla de la maquina en N. En la Tabla 5.7. Se muestran la fuerza que soportarán las cuchillas de la máquina.

Tabla 5.7 Características del motor del prototipo de la trituradora

HP	RPM	$P=T*w$ (watts)	$T=\frac{P}{W}$ (N*m)	D polea motor (in)	D polea eje (in)	$w2=1*\frac{Dm}{De}$ (radianes)	W2 (rpm)	$T2=\frac{P}{W2}$ (N*m)	R(m)	$F=\frac{T2}{d}$ (N)
1.5	1700	1119	6.285	4	16	33.379	425	33.523	0.0832	402.928

Debido a la complejidad de desarrollar un modelo matemático para llegar a determinar la potencia del motor, puesto que se deberían analizar los esfuerzos que las cuchillas ejercen sobre los desechos sólidos orgánicos, teniendo 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, además de tener la limitante que el motor donado ya tiene características definidas.

5.2.2 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 y las cargas debido al peso de la cuchillas y los rotores, los cuales se consideran como un peso ubicado en un punto central. En la Figura 5.5 se muestra un arreglo de los elementos a considerarse para el diseño.

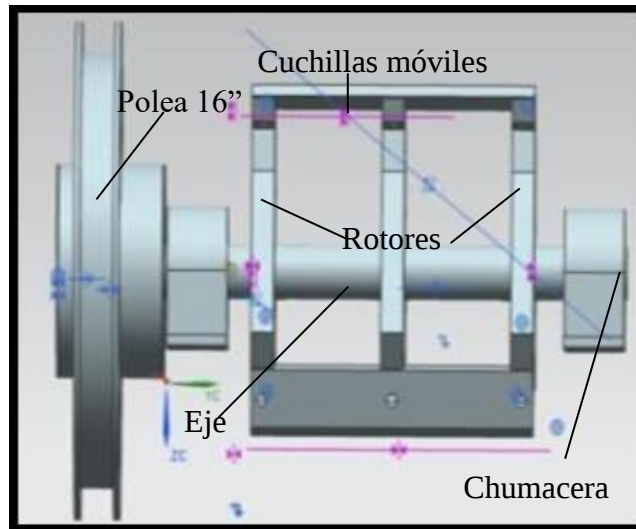


Figura 5.5 Vista de la polea, rodamiento, eje y rotor

El eje transmite el torque a 3 cuchillas, que están sostenidos en la parte superior de los rotores. Para realizar el diseño estático se va a obtener los diagramas de momento y corte a partir del cálculo de las reacciones. En la Figura 5.6 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".

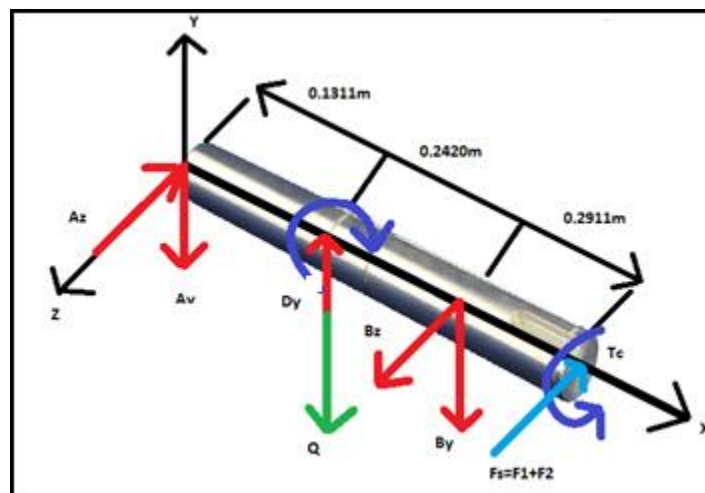


Figura 5.6 Diagrama de cuerpo libre del eje del prototipo de trituradora

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

$$P=T_c \cdot \omega \dots\dots\dots ec \text{ (5.3)}$$

Dónde :

P= Potencia (W)

T_c=Torque (N*m)

ω =velocidad angular (rad/s)

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

$$T_c=33.523Nm$$

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=F₁-F₂, pero la fuerza que flexiona el eje es F_s= F₁+F₂. Combinando tales reacciones se tiene que F_s=1.5F_n. (Shigley y Mishke 1989)

$$F_n = \frac{T}{r} \dots\dots\dots ec \text{ (5.4)}$$

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

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

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

:

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

Para calcular el peso Q se utiliza la ecuación 5.5, se obtiene el volumen de los rotores, las cuchillas, las cuñas, eje y se multiplica por la densidad del acero inoxidable t-304 (d=7800Kg/m³). Para obtener el volumen, se utiliza el software NX 7.5, el cual calcula el volumen como se muestra en la Figura 5.7. Además se suma el peso de la polea de aluminio que es de 39.240 N.

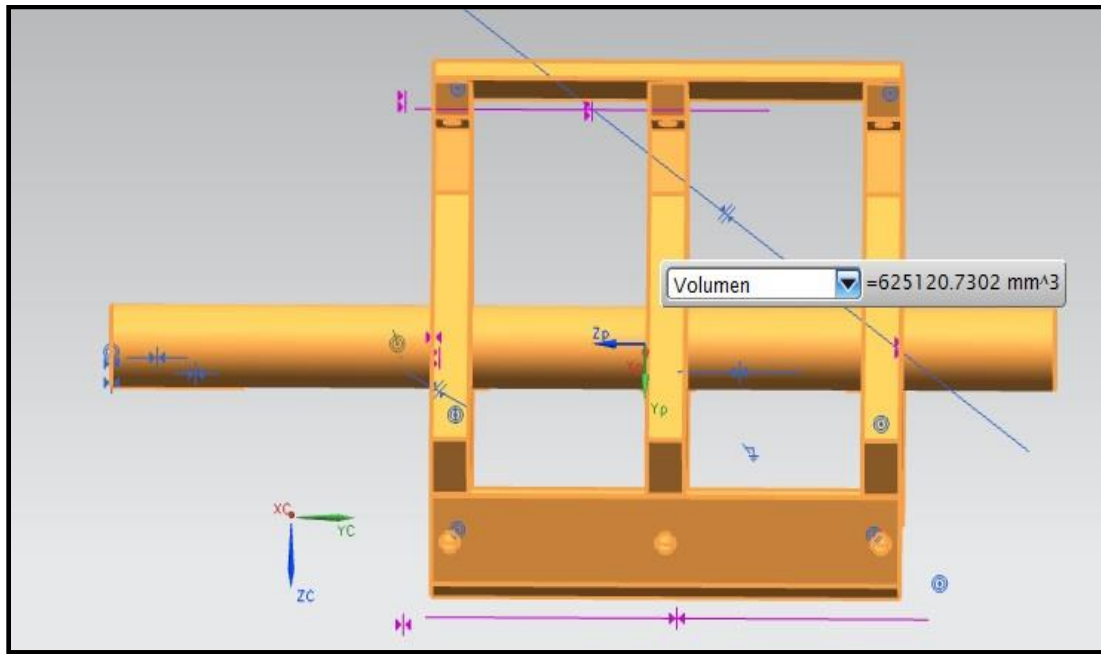


Figura 5.7 Volumen calculado de los ejes, rotores y cuchillas del prototipo de trituradora en NX7.5

$$Q = Volumen * densidad * g \dots\dots\dots ec (5.5)$$

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

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

Se considera que las fuerzas en la polea están concentradas en su centro. Resolver las fuerzas de reacción mediante las siguientes ecuaciones $\Sigma F_x=0$, $\Sigma F_y=0$, $\Sigma F_z=0$, $\Sigma M_y=0$, $\Sigma M_z=0$.

$$\Sigma F_y=0 \dots\dots\dots ec (5.6)$$

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

$$A_y + B_y = 87.070N + 402.920N = 315.850N \dots\dots\dots ec (5.7)$$

$$\Sigma M_z=0 \dots\dots\dots ec (5.8)$$

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

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

$$B_y = 171.107N$$

Remplazando B_y en la ecuación 5.7

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

$$\Sigma M_y = 0 \dots \dots \dots \text{ec (5.9)}$$

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

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

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

$$\Sigma F_z = 0 \dots \dots \dots \text{ec (5.10)}$$

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

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

$$A_z = 50.208N$$

En la Figura 5.8 se muestran las fuerzas cortantes que se producen por efecto del peso de los 3 rotores, cuchillas, poleas. 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.

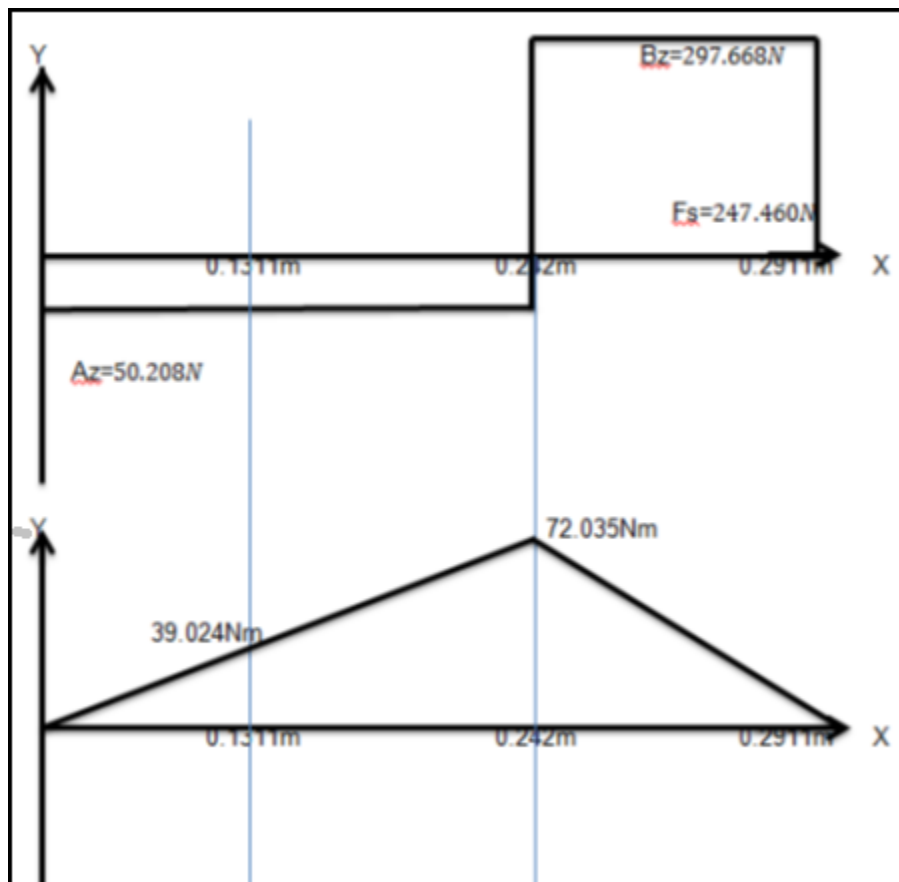


Figura 5.8 Fuerzas cortantes y momentos a los que estará sometido el eje del prototipo de la trituradora en el plano XY

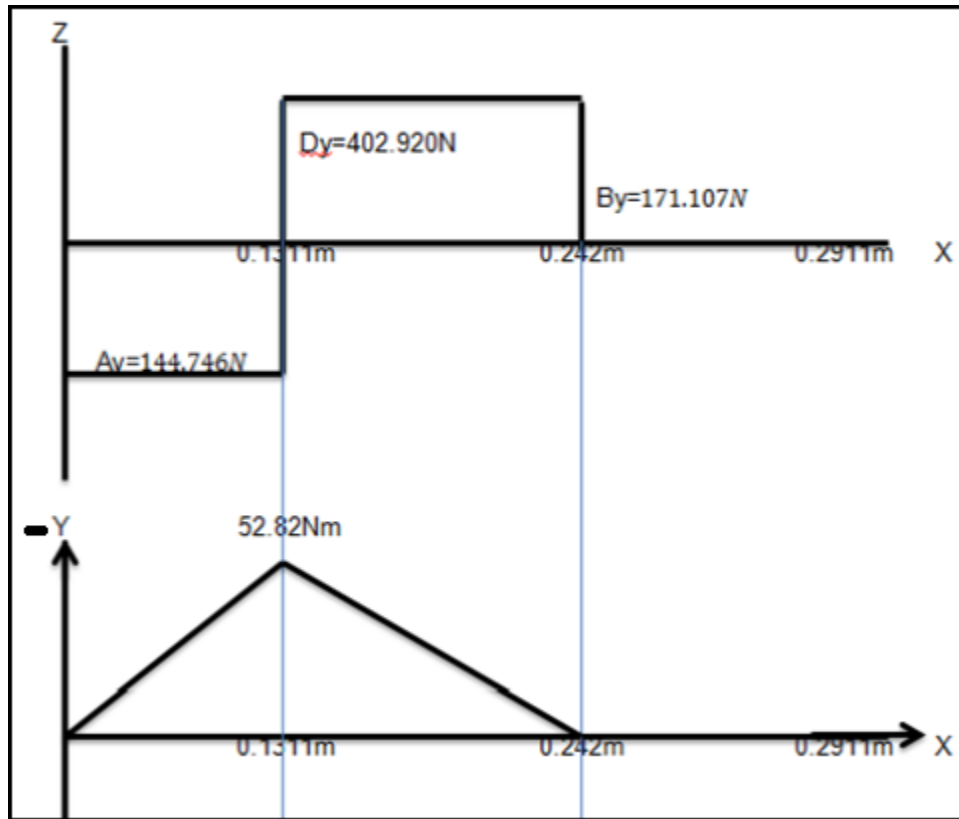


Figura 5.9 Fuerzas cortantes y momentos a los que estará sometido el eje del prototipo de la trituradora en el plano XZ

En la Figura 5.9 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.

Ahora se determinará la sección crítica del eje, es en 0.242m , como se observa en las Figuras 5.8 y 5.9 ya que el momento máximo MB se aplica en dicha distancia y el resultado es:

$$MQ = 72.035\text{N}\cdot\text{m}$$

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 (M_c) entre el primero momento polar de inercia (I) (Norton, 1995).

$$S_x = \frac{M_c}{I} \dots\dots\dots \text{ec (5.11)}$$

En forma similar, se produce un esfuerzo cortante máximo, se divide el torque aplicado (T_c) entre el segundo momento polar de inercia (J), de acuerdo a la ecuación 5.12

$$txy = \frac{Tc}{J} \dots \dots \dots \text{ec (5.12)}$$

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

$$c = \frac{d}{2} \dots \dots \dots \text{ec (5.13)}$$

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

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \dots \dots \dots \text{ec (5.14)}$$

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

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \dots \dots \dots \text{ec (5.15)}$$

Para una sección transversal circular. Sustituyendo la ecuación 5.13, 5.14 y 5.15 en las ecuaciones (5.11) y (5.12), se obtiene (Norton, 1995).

$$sX = \frac{64Md}{2\pi d^4} = \frac{32M}{\pi d^2} \dots \dots \dots \text{ec (5.16)}$$

$$Txy = \frac{Td/2}{\pi d^4/32} = \frac{16T}{\pi d^3} \dots \dots \dots \text{ec (5.17)}$$

Para el estado del plano de esfuerzo cuando $S_y=0$, los esfuerzos normales principales son de acuerdo a la ecuación 5.18:

$$S_1, S_2 = \frac{S_x}{2} \pm \left(\frac{S_x^2}{4} + T_{xy}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots \text{ec (5.18)}$$

Sustituyendo las ecuaciones 5.16 y 5.17 en la ecuación 5.18 resulta:

$$S_1, S_2 = \frac{16M}{\pi d^3} \pm \left(\left(\frac{16M}{\pi d^3} \right)^2 + \left(\frac{16T}{\pi d^3} \right)^2 \right)^{1/2} = \frac{16M}{\pi d^3} (M + (M^2 + T^2)^{1/2}) \dots \dots \dots \text{ec (5.19)}$$

La teoría de la energía de distorsión se caracteriza en la ecuación 5.20:

$$(S_1^2 + S_2^2 - S_1 S_2)^{\frac{1}{2}} \geq \frac{S_y}{n_s} \dots \dots \dots \text{ec (5.20)}$$

Por lo tanto, se sustituye la ecuación 5.19 en la ecuación 5.20.

$$\frac{16}{\pi d^3} \left((4M^2 + 3T^2)^{\frac{1}{2}} \right) \geq \frac{S_y}{n_s} \dots \dots \dots \text{ec (5.21)}$$

Ahora se despeja el diámetro (d), para obtener la ecuación de diseño 5.22.

$$d = \left(\frac{32ns}{\pi S_y} \left(\left(M^2 + 3/4 T^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots \text{ec (5.22)}$$

Se procede a sustituir los datos anteriormente calculados en la ecuación 5.22, que son el momento máximo M=72.035Nm, el torque aplicado Tc=33.523Nm, el esfuerzo de cedencia del acero inoxidable 304 Sy=510Mpa y un factor de seguridad de ns= 2

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

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

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

$$d = 0.014590m = 14.590mm$$

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.

$$[S1 - S2] \geq \frac{S_y}{n_s} \dots\dots\dots \text{ec (5.23)}$$

Se sustituye la ecuación 5.19 en la ecuación 5.23.

$$\frac{32}{\pi d^3} \left((M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right) \geq \frac{S_y}{n_s} \dots\dots\dots \text{ec (5.24)}$$

Despejando d se obtiene la ecuación de diseño 5.25.

$$d = \left(\frac{32ns}{\pi S_y} \left(\left(M^2 + T^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots \text{ec (5.25)}$$

Se procede a sustituir los datos anteriormente calculados en la ecuación 5.25, que son el momento máximo M=72.035Nm, el torque aplicado Tc=33.523Nm, el esfuerzo de cedencia del acero inoxidable 304 Sy=510Mpa y un factor de seguridad de ns= 2

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

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

$$d = 0.014702m = 14.702mm$$

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 (5.24)

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

Despejando ns se obtiene la ecuación de diseño 5.26

$$ns = \frac{Sy}{\frac{32}{\pi d^3} \left((M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right)} \dots\dots\dots ec (5.26)$$

Sustituyendo el momento máximo $M=72.035Nm$, el torque aplicado $Tc=33.523Nm$, el esfuerzo de cedencia del acero inoxidable 304 $Sy=510Mpa$ y un diámetro $d=0.0254m$ en la ecuación de diseño 5.26, se obtiene el factor de seguridad.

$$ns = \frac{510Mpa}{\frac{32}{\pi 0.0254^3} \left((82.012^2 + 33.523^2)^{\frac{1}{2}} \right)}$$

$$ns = 10.32$$

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 tomará 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, 1999). Si la pieza es mayor a 0.3 in 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 bajo esfuerzo este presente un defecto. Shigley y Mitchel (1983) ofrecen una expresión sencilla:

Para $d < 0.3\text{in}$ $C_{\text{tamaño}}=1\text{.....ec (5.27)}$

Para $0.3\text{in} < d < 10\text{in}$ $C_{\text{tamaño}}=0.869d^{-0.097}\text{.....ec (5.28)}$

Para $8\text{mm} < d < 250\text{mm}$ $C_{\text{tamaño}}=1.189d^{-0.097}\text{.....ec (5.29)}$

Debido a que se definió el diámetro del eje de 1 in se ocupará la segunda expresión.
 $C_{\text{tamaño}}=0.8691^{-0.097}=0.896$.

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 esté 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 $C_{\text{superficie}}$. Juvinall (1967) proporciona una gráfica (Figura 5.10) que sirve de alguna guía para seleccionar el factor superficial para algunos acabados comunes en acero. En la Figura 5.10 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.

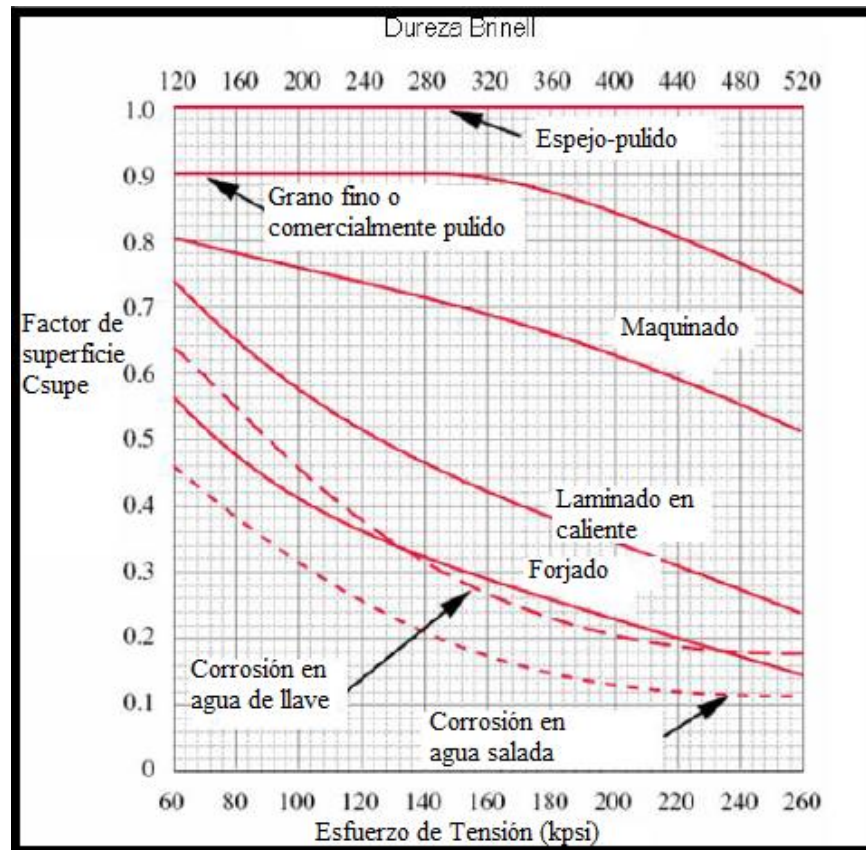


Figura 5.10 Factores superficiales para diversos acabados (Juvinall, 1967)

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, de acuerdo a la Figura 5.10, tendrá un factor

Csuperficial de 0.9. Por otro lado Shigley y Michael (1989) proponen que se maneje una ecuación exponencial de la forma:

$$C_{superficie} = A(Sut)^b \dots\dots\dots ec \text{ (5.30)}$$

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 siguiente Tabla 5.8. Utilizando la ecuación (6.30), con Sut=91.372 kpsi y un acabado de rectificado:

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

Tabla 5.8 Coeficientes para la ecuación de factor superficial (Shigley, 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 se define 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 Ctemperatura. Shigley y Mitchell (1983) sugieren la Tabla 5.9 para trabajos a temperatura ambiente Ctemperatura=1.

Tabla 5.9 Intervalos de temperaturas para determinar Temperatura. (Shigley y Mitchell, 1983)

Para T < 450c	Ctemperatura=1
Para 450c < T < 550c	Ctemperatura=1-0.0058(T-450)
Para 840F < T < 1020F	Ctemperatura=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 5.10 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 un confiabilidad superior. Se decide tener una confiabilidad del 90%, por lo tanto, Cconfiabilidad=0.897. Una vez que se obtuvieron todos los factores de corrección, se puede calcular el límite a la resistencia corregida Se’.

Tabla 5.10 Factores de confiabilidad para desviación estándar del 8%. (Norton, 1999)

CONFIABILIDAD %	Cconfiabilidad
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

$Se = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{superficie} * C_{temperatura} * C_{confiabilidad} * Se' \dots\dots\dots ec (5.31)$

Sustituyendo los datos calculados en la ecuación 5.31.

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

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 a las muescas también depende del radio de la muesca (que es una medida de lo agudo de la muesca). Conforme los radios de la muesca se acercan a cero, la sensibilidad a las muescas *q* del material se reduce y también se acerca a cero. La sensibilidad a las muescas *q* se puede definir a partir de la ecuación (Kunn- Hardrath, 1952), en función de la constante de Neuber *a* y del radio de la muesca *r*, ambos expresados en pulgadas.

$$q = \frac{1}{1 + \sqrt{a}/\sqrt{r}} \dots\dots\dots ec (5.32)$$

En la Tabla 5.11. 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 muesca de 0.01 in. Ahora remplazando los datos en la ecuación se obtiene:

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

Tabla 5.11 Constante de Neuber para aceros (Norton, 1999)

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

$$K_f = 1 + q(k_t - 1) = 1 + 0.588(2.8 - 1) = 2.058 \dots \dots \dots \text{ec (5.33)}$$

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.

$$d = \left(\frac{32 n_s}{\pi} \left(\left((K_f * M / S_e)^2 + (k_f * T / S_y)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots \text{ec (5.34)}$$

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 5.34 se obtiene un diámetro.

$$d = \left(\frac{32 * 2.5}{\pi} \left(\left(\left(2.058 * \frac{82.012}{231.4 * 10^2} \right)^2 + 3/4 \left(2.058 * \frac{33.523}{510 * 10^2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right)^{\frac{1}{3}}$$

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

El valor del diámetro del eje determinado es de 2.512mm 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 in del eje del prototipo de trituradora elegido es seguro en condiciones normales de trabajo.

5.2.3 DISEÑO DE CUÑAS

Ahora se calculará los esfuerzos en la cuña, la cual está hecha de coll-rol que es un acero 1010 que tiene un esfuerzo de fluencia menor a la de acero inoxidable. El diámetro del eje será de 1 pulgada, por lo que basados en la Tabla 5.12, las dimensiones de la cuña será de ¼*¼in.

Tabla 5.12 Tamaños estándar de cuñas y prisioneros (Norton, 1999)

Diámetro de flechas (in)	Ancho nominal de la cuña (in)	Diámetro del tornillo prisionero (in)
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 Acorte es el área de corte que se está degollando. En este caso Acorte 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.

$$Txy = \frac{F}{Acorte} \dots \dots \dots \text{ec (5.35)}$$

La falla por aplastamiento se define en la siguiente ecuación:

$$Sx = \frac{F}{Aapoyo} \dots \dots \dots \text{ec (5.36)}$$

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=0.0254m, las dimensiones de la cuña será ¼*¼ in, la longitud de las cuñas serán de ¾ in.

$$F = \frac{T}{r} \dots \dots \dots \text{ec (5.37)}$$

Ahora se determina la fuerza sobre la cuña, a partir del componente del par de torsión dividido por el radio del eje.

$$F = \frac{33.523}{0.0127} = 2639.606N$$

Ahora como la longitud de la cuña es de $\frac{3}{4}$ in, calculamos el esfuerzo cortante sustituyendo la fuerza $F=2639.606N$ y el área de corte, con la ecuación 5.35

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

Para determinar el factor de seguridad al corte de la cuña, calcular los esfuerzos de Von Mises equivalentes mediante la ecuación 5.38

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 - \sigma_X \sigma_Y + 3T_{XY}^2} \dots \dots \dots \text{ec (5.38)}$$

Sustituyendo $T_{xy}=21.820Mpa$ en la ecuación 5.38.

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

Se aplica la ecuación 5.39 para obtener el factor de seguridad a la fatiga por esfuerzo cortante (Norton, 1995).

$$Ns = \frac{1}{\frac{\sigma_1}{s_e} + \frac{\sigma_2}{s_{ut}}} \dots \dots \dots \text{ec (5.39)}$$

Sustituyendo los esfuerzos principales y $S_{ut}=365.462Mpa$ y $S_e=157.812Mpa$ en la ecuación 5.39 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.

$$\sigma_{max} = \frac{F_m + Fa}{A_{apoyo}} \dots \dots \dots \text{ec (5.40)}$$

Sustituyendo la fuerza de compresión y el área apoyo en la ecuación 5.40.

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

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

$$Ns = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \dots \dots \dots \text{ec (5.41)}$$

Sustituyendo el $S_y=303Mpa$ y el esfuerzo máximo de $87.823Mpa$ en 5.41

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

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

5.2.4 ROTORES

Los esfuerzos que 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 5.11, 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 siguiente para obtener el factor de seguridad a la fatiga por esfuerzo cortante (Norton, 1999).

Sustituyendo los esfuerzos principales, $S_e=231.40\text{Mpa}$ y $S_{ut}=630\text{Mpa}$ en la ecuación 5.39 se obtiene:

$$Ns = \frac{1}{\frac{\sigma_1}{s_e} + \frac{\sigma_2}{s_{ut}}} = \frac{1}{\frac{37.793}{231.4} + \frac{37.793}{630}} = 4.47$$

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.

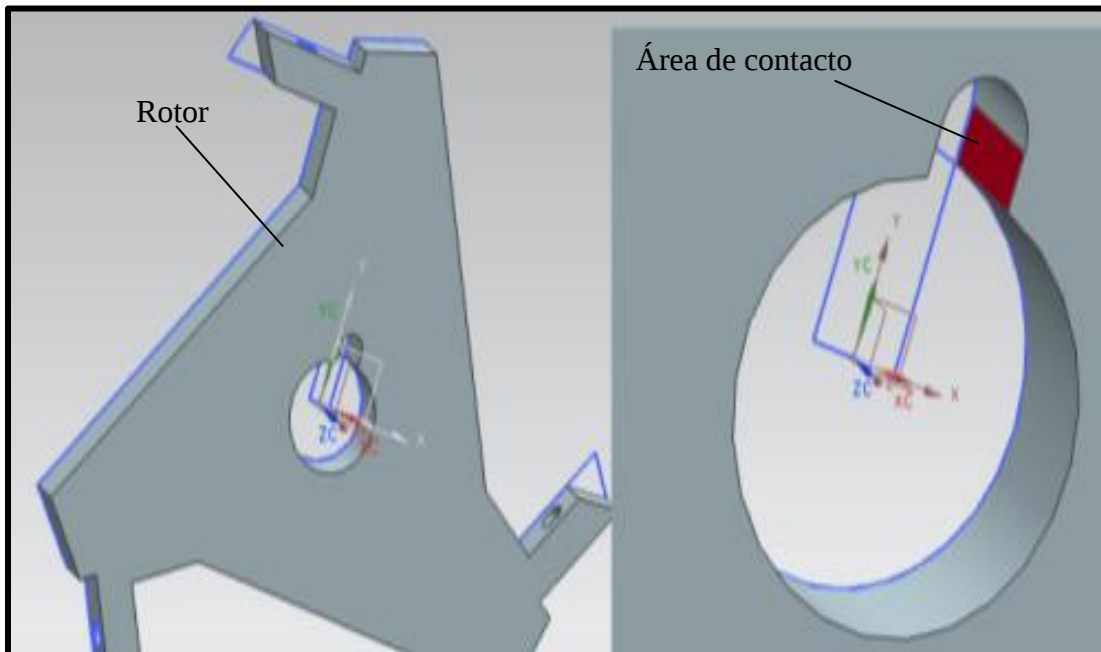


Figura 5.11 Plano en 3D de la sección del rotor que recibe el esfuerzo

5.2.5 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 critica 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.

$$Wn = \sqrt{g \frac{m\delta}{m\delta^2}} \dots\dots\dots \text{ec (5.42)}$$

Ahora se calcula la deflexión en el sistema eje del prototipo de trituradora, para lo cual, se utiliza el software NX 7.5 para realizar una simulación avanzada. Aquí se definió 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 5.12.

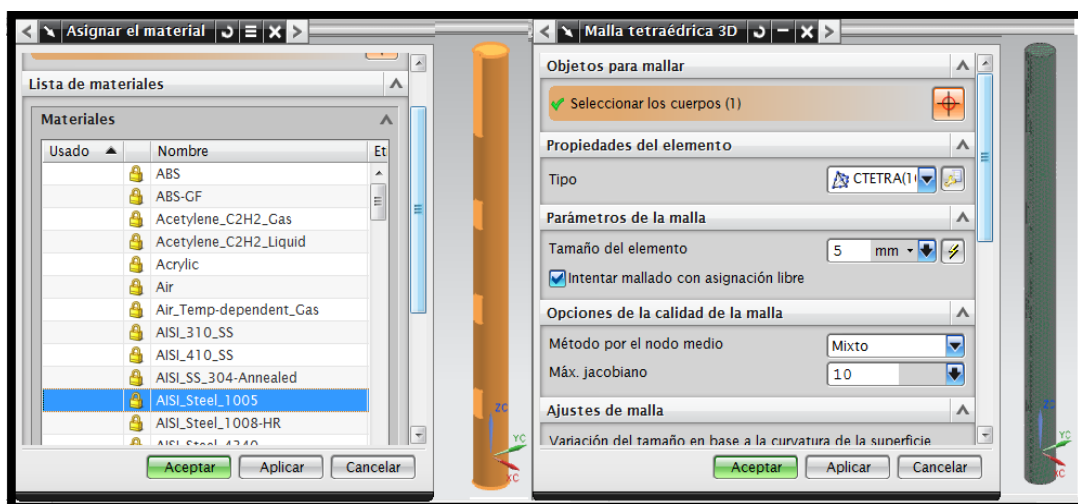


Figura 5.12 Selección del material y de tipo de mallado del eje de la trituradora (A partir de NX 7.5)

El paso siguiente 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 16 in. En la Figura 5.13 se puede observar la deflexión que sufre el eje, la cual es de $1.674 * 10^{-6}m$.

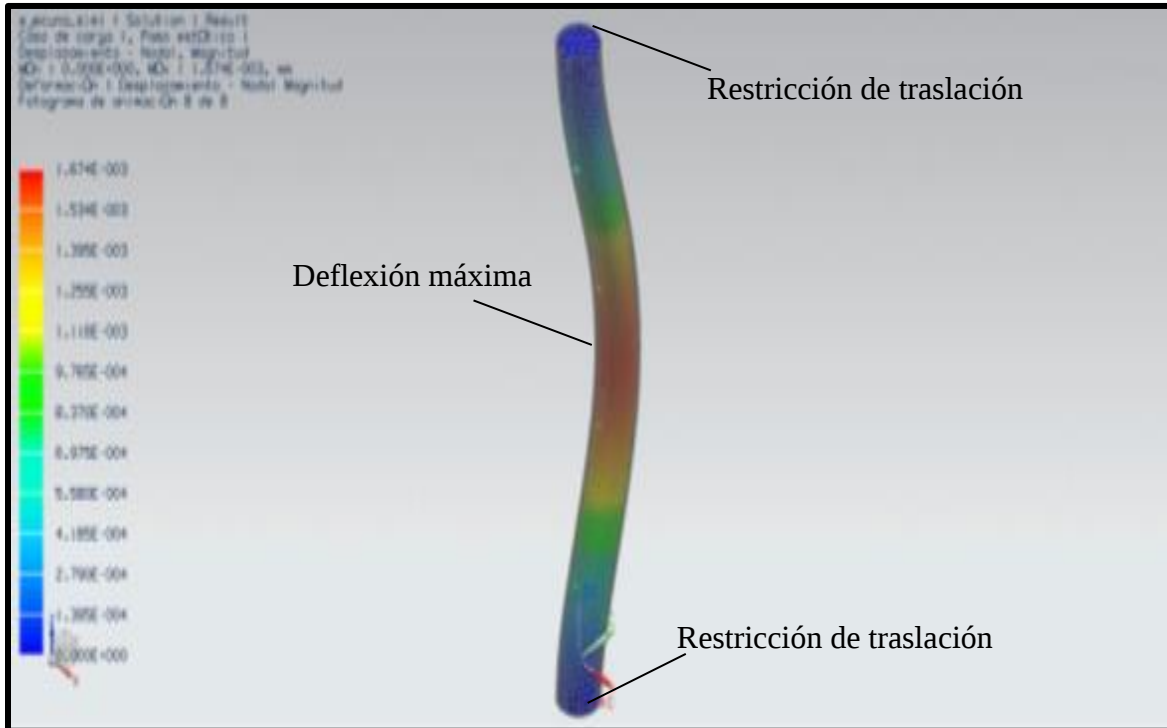


Figura 5.13 Análisis de la deflexión máxima aplicada en el eje de la trituradora (a partir de NX 7.5)

Ahora se puede calcular la velocidad crítica, sabiendo que la masa de los rotores es de 8.87 kg. La velocidad crítica es de 23,116 rpm, la cual, permite trabajar con un amplio margen de seguridad, ya que la velocidad de operación es de 425 rpm. 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.

$$W_n = \sqrt{\frac{9.81m}{s^2 \frac{8.87kg * 1.674 * 10^{-6}m}{8.87kg * (1.674 * 10^{-6}m)^2}}}$$

$$W_n = 2420.78 \frac{rad}{s} = \frac{30}{\pi} * 2420.78 = 23116rpm$$

5.2.6 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 $C=3800\text{lb}$ de acuerdo a la tabla del anexo 3. La clasificación de carga estática $C_0=2550$. La carga estática aplicada es de $87.070\text{N}=19.59\text{lb}$, que 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 5.14 La vida proyectada se calcula con la siguiente ecuación.

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \dots\dots\dots \text{ec (5.43)}$$

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

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



Figura 5.14 Chumacera del prototipo de trituradora.

La vida proyectada de los valeros 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 $30\text{min} * 425\text{rpm} = 12750 \text{revoluciones por día}$, se contempla una operación de 5 días por semana. Además se contempla que un año se tienen 52 semanas, $12750\text{rpd} * 5\text{dia/semana} * 52\text{semanas} = 3.315 * 10^6 \text{revoluciones por año de trabajo}$, en conclusión los valeros tiene una vida óptima útil de más de 2 años.

5.2.7 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 colocarán los tornillos como se puede apreciar en la Figura 5.15. En la Figura 5.16 se puede 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 (Figura 5.16). Para las cuchillas fijas se espera resultados similares ya que la geometría es la misma que las cuchillas fijas.

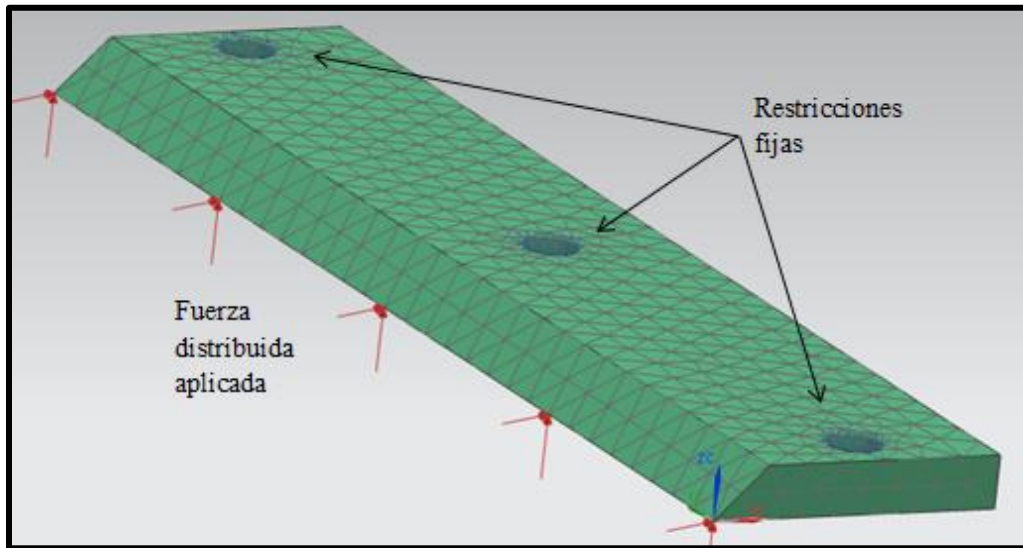


Figura 5.15 Restricciones fijas y fuerza aplicada a la cuchilla de corte NX 7.5

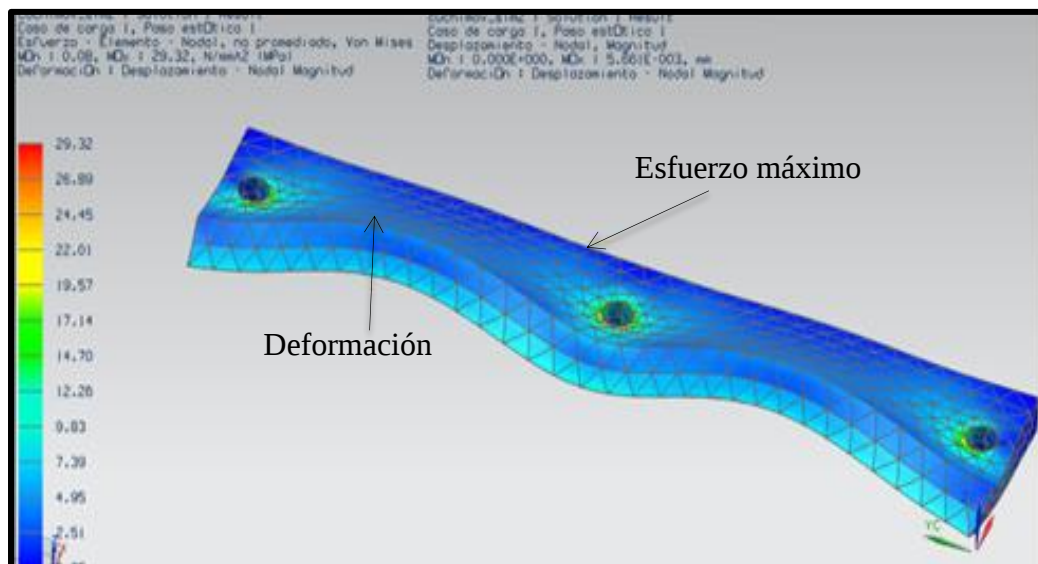


Figura 5.16 Diagrama en 3D del esfuerzo y la deformación máxima aplicada a una de las cuchillas del rotor

5.3 MANUFACTURA

Finalmente se ha 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 realizarán los planos de cada pieza para su manufactura los cuales se localizan en el anexo A. Una vez elaborado los planos se procede a la fabricación del prototipo. A continuación se describe la manufactura de la máquina.

5.3.1 MATERIALES PARA LA MANUFACTURA

Teniendo el plano de cada una de las piezas que conforman el prototipo de trituradora, los planos de sub-ensambles y de las piezas de la maquina se determina el material para la fabricación. El material para los rotores, el eje, las cuchillas es acero inoxidable 304, y el material de las poleas es aluminio (Tabla 5.13). En la Figura 5.17 se muestra las placas de acero inoxidable a manufacturar.

Tabla 5.13 Materiales usados para la construcción del prototipo de trituradora

Material	Cantidad	Costo (pesos)
Placa de acero inoxidable T-304 espesor ¼ in	1 50cm*50cm	961.64
Placa de acero inoxidable T-304 espesor ½ in	1 20cm*60cm	994.12
Barra maciza 1 in acero inoxidable T-304	1 35cm	139.20
Placa de acero inoxidable T-304 espesor ¼ in	1 20cm*20cm	200.00
Placa de acero inoxidable T-304 espesor 1/32in	1 20cm*60cm	120.00
	Total	2,414.96

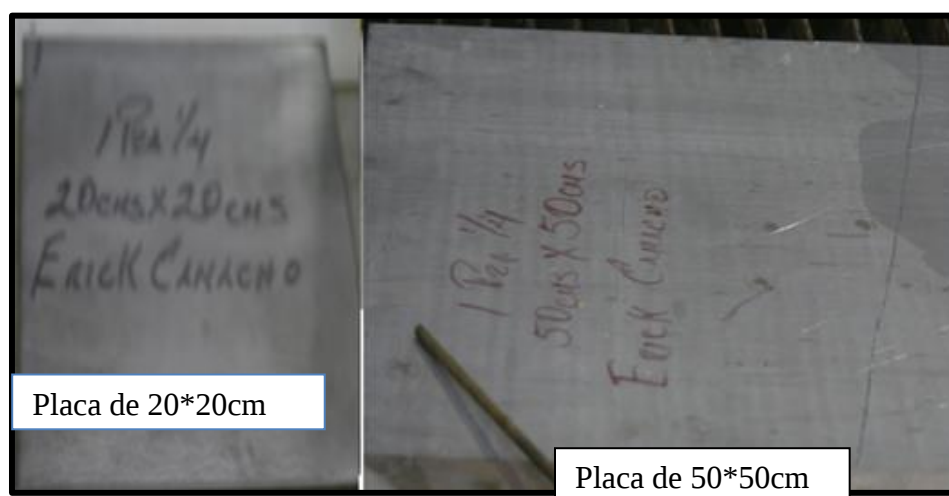


Figura 5.17 Placas a manufacturar

Existen de forma comercial componentes que pueden adquirirse, esto reduce el tiempo de fabricación. La Tabla 5.14 muestra los materiales que se adquirieron como son los tornillos, poleas, chumaceras, bandas.

Tabla 5.14 Materiales que se adquirieron comercialmente

Material	Cantidad	Costo (pesos)
Tornillo de acero 3/8 Ø	8 3 1/2in	24.00
Tornillo de acero 5/16 Ø	4 3 1/2in	12.00
Tornillo de acero 3/8 Ø	8 1 1/2in	40.00
Tornillo de acero 1/2 Ø	4 3 .00in	32.00
Polea de aluminio 16 Ø	1	645.00
Polea de aluminio 3 Ø	1	110.00
Chumaceras	2	320.00
Baleros	2	160.00
Banda de caucho	2	180.00
Bisagra	2	16.00
Total	32 piezas	1,539.00

Alguna piezas fueron donadas por parte de la empresa confecciones géminis y se obtuvo una tabla de madera de 40cm*105cm donada por parte del taller de carpintería de la Facultad de Ingeniería. La Tabla 5.15 muestra los componentes donados.

Tabla 5.15 Componentes donados

Componente	Cantidad	Valor aproximado (pesos)
Motor de 1.5 hp 1700 rpm	1	3,500.00
Mesa de soporte	1	700.00
Tabla de madera 40cm*105cm*2cm	1	120.00

Algunos elementos del prototipo de trituradora deben ser maquinados para obtener la forma final, es necesario un proceso previo utilizando los materiales de fabricación que previamente se han enlistado.

5.3.2 PIEZAS MAQUINADAS (ROTORES, CÁMARA DE TRITURACIÓN Y CUCHILLAS)

Debido a que el material a tratar es acero inoxidable 304, el cual tiene una alta resistencia a la fluencia y además su geometría es compleja. Lo que hace difícil de maquinar por máquinas convencionales como el torno y la fresa. Se decidió mandar a cortar las placas de acero inoxidable al Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico CCADET, en específico al área sección de desarrollo de prototipos. El CCADET cuenta con una máquina cortadora por chorro de agua de cinco ejes que puede hacer cortes en cualquier tipo de material como titanio y granito. Se eligió el corte por chorro de agua debido a que no existe deformación ni endurecimiento del material cuando este se está cortando, la formación de

rebaba es muy reducido, la pérdida de material es pequeña, se tiene unas tolerancias de que van de 0.1-0.3mm , se puede cortar materiales con un espesor de 250mm.

5.3.2.1 ROTORES

Para realizar los cortes, se necesitó hacer un diseño de los rotores, la carcasa y las cuchillas en formato dwg, el cual, marca el perímetro de corte por parte de la cortadora por chorro de agua. Para el corte de los tres rotores, se utilizó la placa de acero inoxidable t-304 de 20cm*60cm. En la Figura 5.18 se puede observar como realiza el perímetro de corte de los tres rotores en el panel de control de la cortadora por chorro de agua. En la Figura 5.19 se puede observar cómo se va realizando el corte de un rotor.

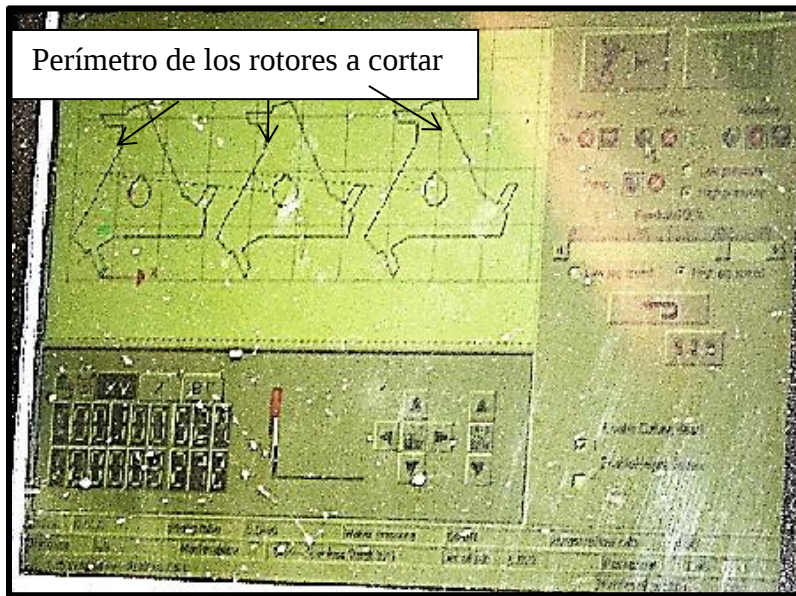


Figura 5.18 Perímetro de corte por parte de la cortadora por chorro de agua



Figura 5.19 Corte de los rotores. CCADET

En la Figura 5.20 se compara el modelado en NX 7.5 con el acabado final de los rotores, se puede notar que el corte es muy preciso. Por lo que, no necesitaría un rectificado, pero debido a que las placas de acero inoxidable para los rotores estaban un poco desbalanceadas se necesitó maquinar cada rotor en un torno, de tal manera que los rotores quedaran uniformes y listos para ensamblar. En la Figura 5.21 se observa cómo está montado el rotor en un torno para su maquinado.

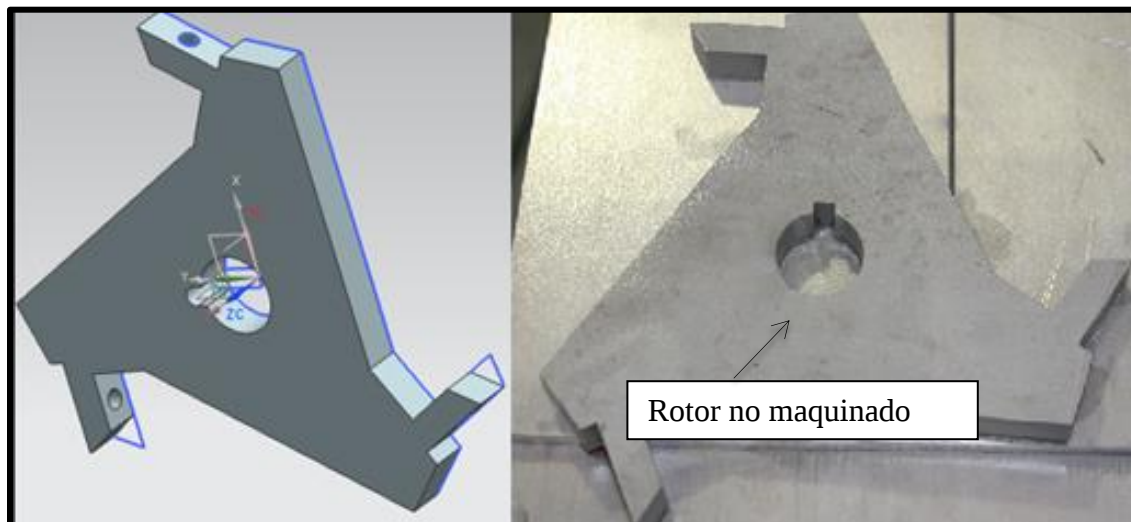


Figura 5.20 Modelado en NX y acabado del rotor CCADET

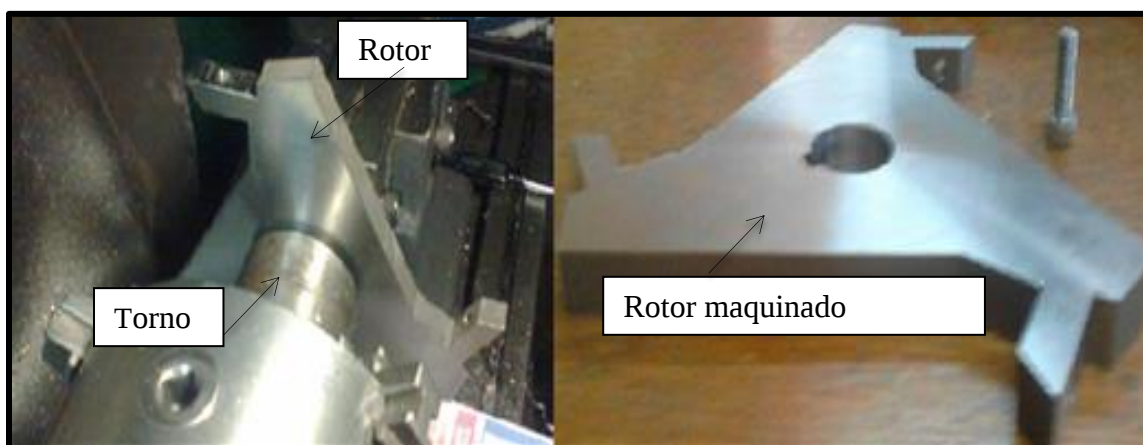


Figura 5.21 Rotor montado en un torno, rotor maquinado

5.3.2.2 CÁMARA DE TRITURACIÓN

Para la cámara de trituración del prototipo de trituradora se utilizó la placa de acero inoxidable T-304 de 50cm*50cm con un espesor de $\frac{1}{4}$ in. El corte se realizó de acuerdo a la Figura 5.22, donde se muestra la carcasa dividida en partes lo que permite el corte de la misma con la cortadora de chorro de agua, ya que marca el perímetro de corte, a su vez también se muestra un modelo de la carcasa ya ensamblada en NX.

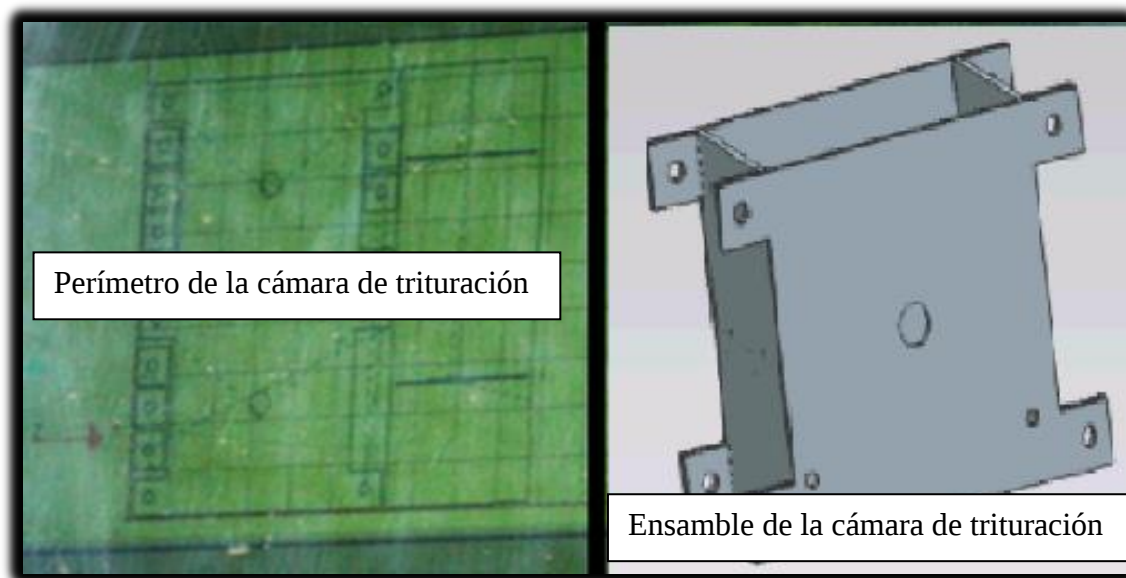


Figura 5.22 Perímetro de corte para la carcasa trazado por la cortadora a chorro de agua

En la Figura 5.23 se muestra la secuencia de corte de la carcasa, en el primer cuadro se fija la placa de acero inoxidable, en el segundo cuadro se obtiene el punto de referencia de la cortadora por chorro de agua, en tercer cuadro se inicia el corte, y en el último cuadro se muestra el final de corte. En la Figura 5.24 se muestra las piezas obtenidas por la cortadora de chorro de agua.

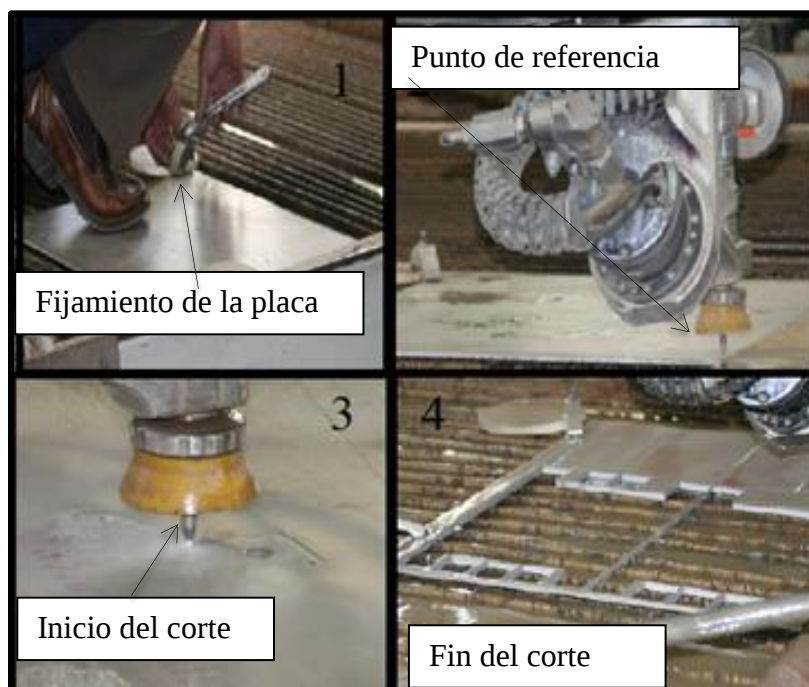


Figura 5.23 Secuencia de corte de la cámara de trituración

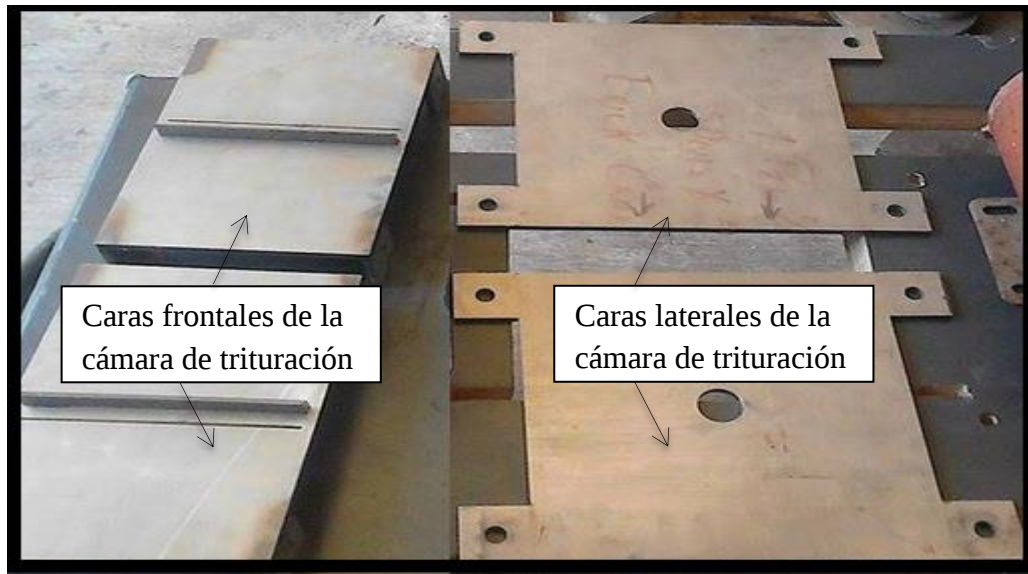


Figura 5.24 Partes de la carcasa del prototipo de trituradora

Para ensamblar la carcasa se soldaron 8 placas de acero inoxidable de 4*cm*4cm en las esquinas de las caras frontales que soportan la cuchillas fijas. Una vez soldada la plaquitas de acero inoxidable, simplemente se colocaron 8 tornillos de 3/8in Ø por 1 ½ in de largo en las cuatro esquinas. En la Figura 5.25 se muestra el ensamble final de la carcasa.

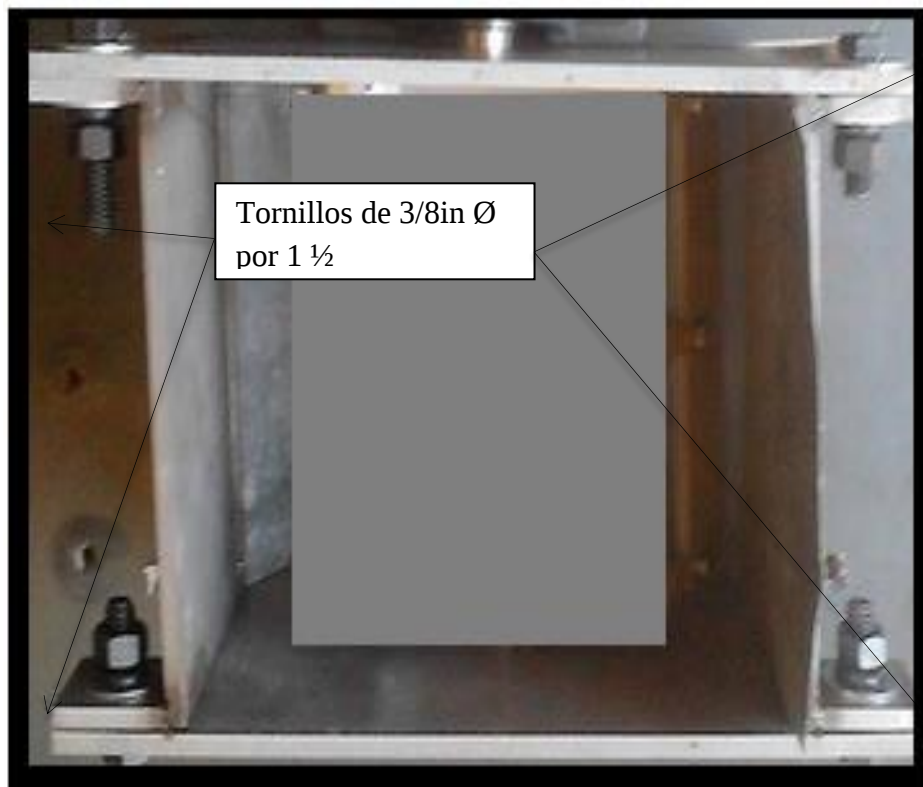


Figura 5.25 Ensamble final de la carcasa

5.3.2.3 CUCHILLAS

Para la cuchillas se utilizó la placa de acero inoxidable t-304 de 20cm*20cm, se realizó un procedimiento muy similar al rotor y a la carcasa. Para maquinar el filo de las cuchillas se utilizó una fresa, girando el broquero a un ángulo de 45° con respecto a la base horizontal. En la Figura 5.26 se muestra el producto final del corte de las cuchillas ya con el filo de 45° .



Figura 5.26 Cuchillas maquinadas con filo de 45°

5.2.3 ENSAMBLE

Para maquinar el eje, se rectificó con un torno para eliminar imperfecciones en la superficie. El paso siguiente fue maquinar los cuñeros de acuerdo al plano del eje con una fresa de $\frac{1}{4}$ in. Para obtener las cuñas, se cortó la solera de coll roll $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ a la medida indicada. En el caso de los rotores, son tres cuñas de $\frac{3}{4}$ in de longitud, además de una cuña de 2 in que se ensambla a la polea de 16 in al eje. En la Figura 5.27 se muestra el modelado del eje con sus 4 cuñeros y las 4 cuñas en NX 7.5.

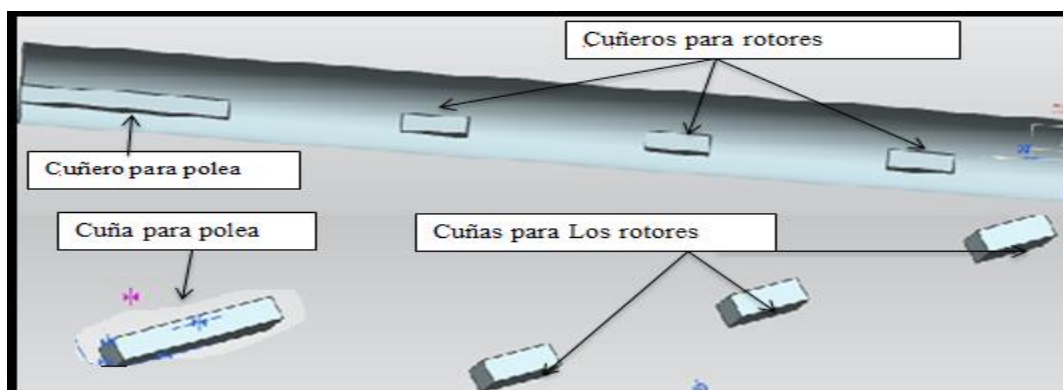


Figura 5.27 Modelo del Eje y cuñas en NX 7.5

Una vez maquinados los 3 rotores, las 3 cuchillas móviles, 2 cuchillas fijas, la carcasa, el eje, 4 cuñas. Se procede a realizar el sub-ensamble de parte principal del prototipo de trituradora (eje-cuñas-rotor-cuchillas móviles). De acuerdo como se muestra en la Figura 5.28, en la cual, se puede observar la secuencia del sub-ensamble en NX 7.5. En el #1 se observa al eje solo, en #2 el eje esta ensamblado con las 4 cuñas, en #3 se ensambla el primer rotor, en #4 se han ensamblado los 3 rotores, en el #5 se ensamblan las cuchillas móviles, y por último ensambla la polea de 16 in. En la Figura 5.29 Se observa el sub-ensamble final.

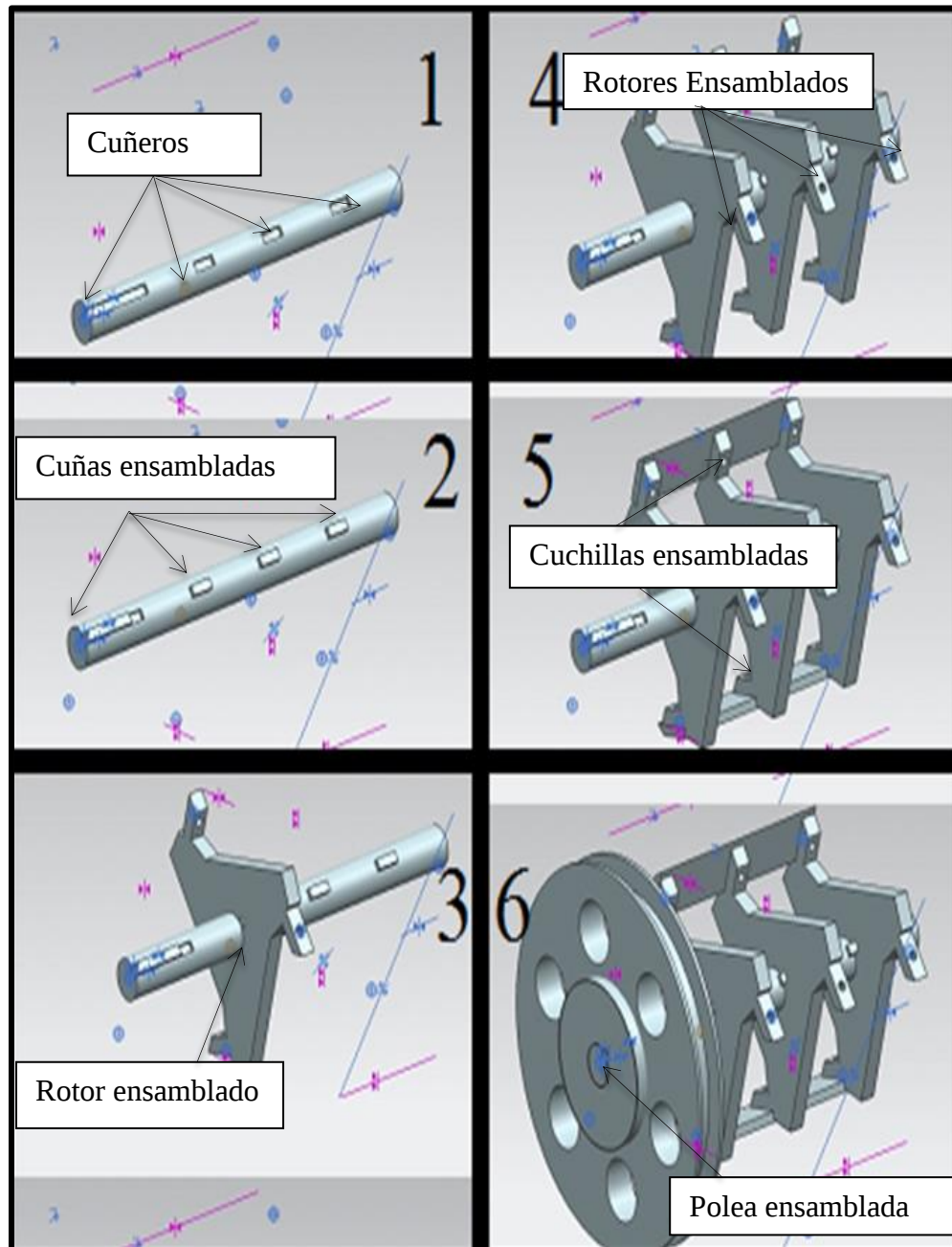


Figura 5.28 Secuencia de ensamble

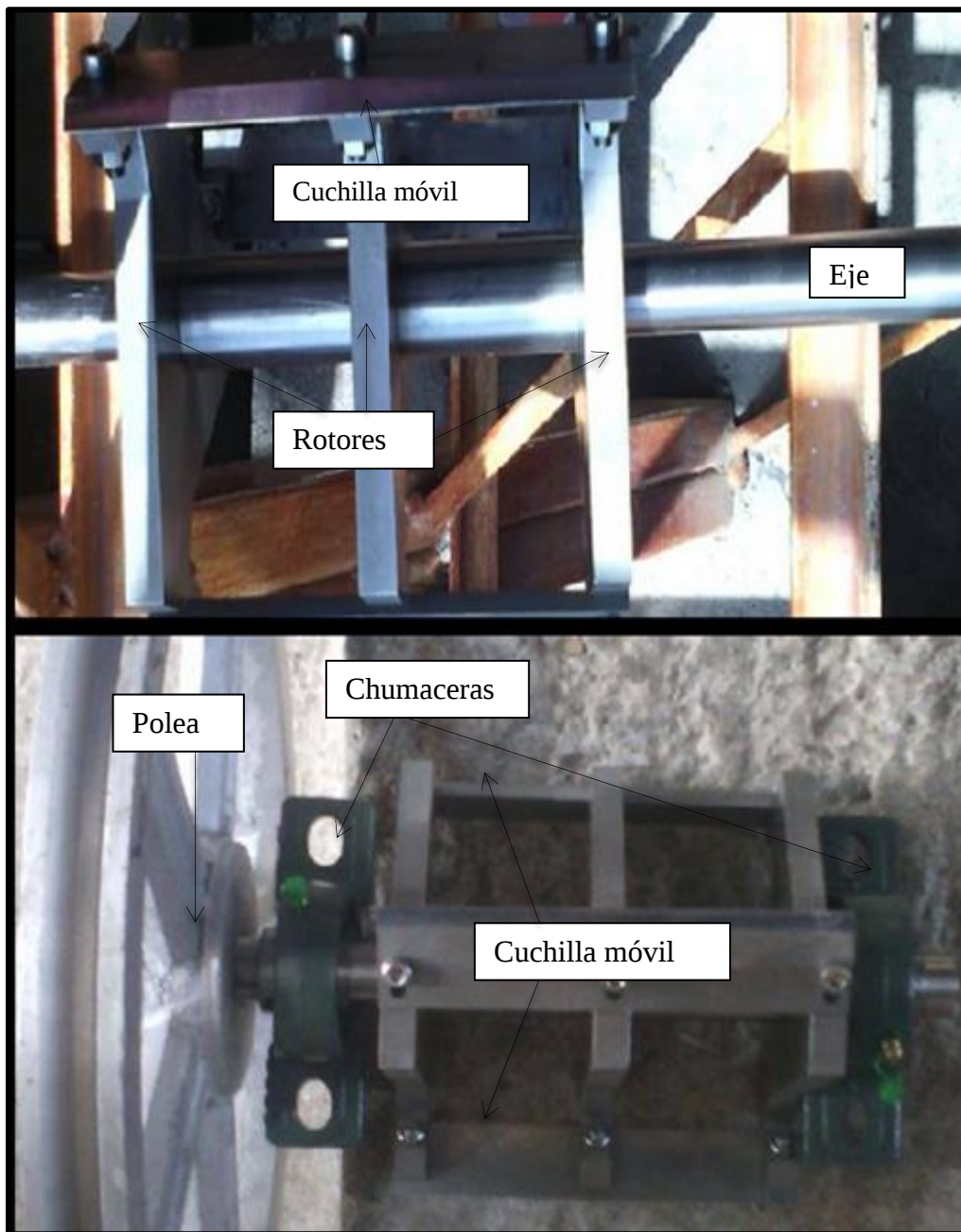


Figura 5.29 Sub-ensamble final del eje, cuñas, rotores y cuchillas móviles

Por último, se procede a realizar el ensamble final de todas piezas, por un lado se tiene las piezas máquinas que es el sub-ensamble, la carcasa y las cuchillas fijas. Por otro lado. las piezas adquiridas que son los tornillos, las chumaceras, la banda, la poleas, y las piezas donadas como lo son el motor, la mesa de trabajo y la madera de base. En la Figura 5.30 se muestran las piezas por separado, antes del ensamble, se puede observar que la carcasa, las poleas, la mesa de trabajo, las chumaceras, el motor. En la Figura 5.31 se muestra la secuencia del ensamble total del prototipo de trituradora.

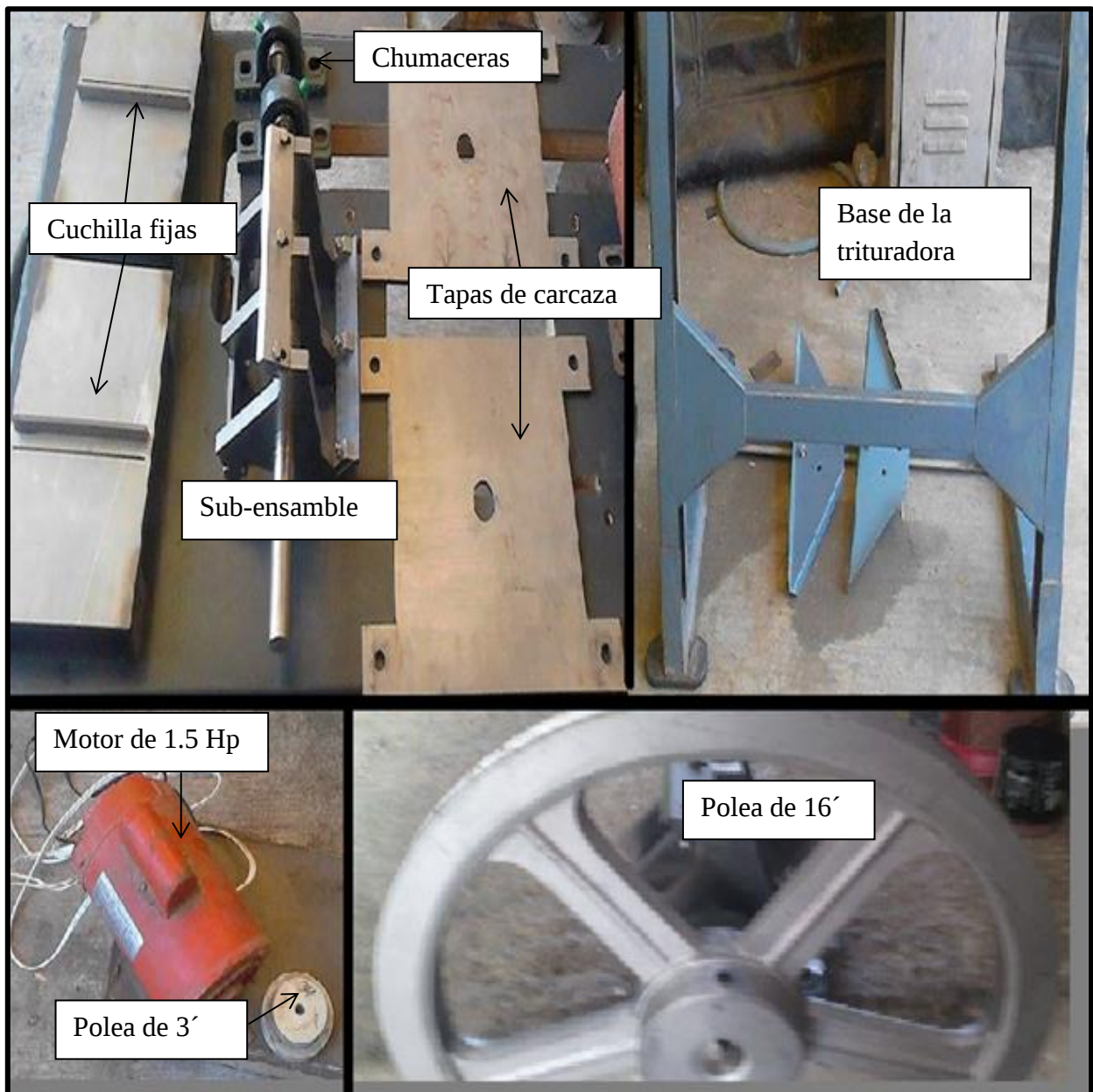


Figura 5.30 Piezas sin ensamblar

Para el ensamble total se realizaron varios ajustes, como lijar la mesa, taladrar nuevos barrenos tanto en la mesa, como en la tabla de madera para fijar el motor. La banda se colocó sin tensionar en ambas poleas, cuando se fijó el motor en la madera que sirve como base, la banda se fue tensando mientras se apretaban los tornillos. Se tuvo especial cuidado de que, el eje no tocara los orificios de la carcasa, ya que eso ocasionaría una fricción que llevaría al mal funcionamiento de la máquina. Las chumaceras reciben la carga que corresponde al peso de las poleas, el eje, las cuñas, las cuchillas móviles y los rotores. Mientras que la mesa soporta la carga debida al peso de la carcasa y de las cuchillas fijas, la tolva de entrada y la criba. En la Figura 5.31 se observa varias vistas del ensamble final.



Figura 5.31 Secuencia de ensamble fina

5.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA DE BIOGÁS IMPLEMENTANDO EL PROTOTIPO DE TRITURADORA

5.4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA DE BIOGÁS

El costo final del prototipo de trituradora es la suma del costo de las placas de acero inoxidable que es de \$2,414.96 pesos, más las piezas adquiridas con un valor de \$1,539.00 pesos, el corte con chorro de agua por parte del CCADET tuvo un valor de \$1,968.00 pesos. más la soldadura de las cuatro esquinas de la carcasa da un costo total de \$6,921.96 pesos. Las notas y facturas por la adquisición de las placas y las piezas adquiridas se encuentran en el Anexo B. Comparando este valor, con una maquina similar de la marca Retsch que tiene un costo de 6,090 euros lo que equivale a \$105,731.00 pesos (la cotización de dicha máquina se encuentra en el Anexo B), representa una ventaja económica por parte del prototipo de trituradora contra la máquina en el mercado.

Para efectuar la evaluación económica, es necesario cuantificar ciertos parámetros económicos que se emplean dentro del análisis económico, para determinar la rentabilidad económica de cualquier proyecto de energía. Para tal propósito, es indispensable definir con el mayor detalle posible, el monto de la inversión inicial. En la Tabla 5.16 se detalla el costo total del proyecto de bioenergía propuesto por Juárez (2012). La inversión inicial para la ejecución de la planta de biogás del restaurante cibarium fue de \$129,063.00 pesos tal como se aprecia al final de la Tabla 5.16.

Para los costos fijos, es decir, todos aquellos desembolsos que no se relacionan con el nivel de producción, y que por lo general se asume que permanezcan constantes a lo largo del periodo para el cual se efectúa la evaluación, Juárez asigna de manera preliminar un monto de \$1,000 pesos anuales por concepto de mantenimiento general programado, anticipando un 3% anual de aumento para esa erogación. En este mismo rubro de los costos fijos, considera un desembolso de \$5,000 pesos con una periodicidad de 5 años, como parte de un plan de sustitución de equipo.

Por otro lado, los costos variables, enteramente dependientes del nivel de producción, se componen, en este caso, de los consumos proyectados de energía eléctrica, agua potable y de otras erogaciones como las debidas a los reactivos para el control del pH, a la sustitución del lecho para remoción de H_2S , indumentaria y equipo de trabajo, refacciones y reparaciones diversas. En cuanto al consumo de energía eléctrica se considera un costo de \$1.2482 pesos por kWh, mismo que se le asignará un incremento anual de 11%. Para el consumo de agua potable, la cual se emplea para propósitos generales (aproximadamente 50 L/día), no así en la preparación del sustrato, donde se utiliza el efluente del segundo reactor, se considera un costo de \$43.38 pesos por m^3 , este con crecimiento anual del 3%. Así partiendo de la producción anual pronosticada de biogás, el costo variable asociado al consumo de electricidad es de \$2.12 pesos por m^3 de biogás, el correspondiente al agua potable \$0.36 pesos por m^3 de biogás y para los otros costos el monto es de \$1.58 pesos por m^3 de biogás. Lo que hace un costo variable total de \$4.03 pesos por m^3 de biogás. Los atributos técnicos y operativos más relevantes de la planta de biogás, indispensables para emprender la evaluación económica, están asentados en la Tabla 5.17.

Tabla 5.16 Desglose de la inversión inicial para la conformación de la planta de biogás con el prototipo de trituradora (a partir de Juárez 2012)

Activo fijo	#	Unidad	Costo unitario (pesos)	Montos (pesos)	Total (pesos)
Triturador	1	Pieza	5,000.00	5,000.00	5,000.00
Tanque receptor del sustrato	1	Pieza	350.00	350.00	350.00
Reactor anaerobio r-1 1250l	1	Pieza	15,000.00	15,000.00	15,000.00
Accesorios para el reactor r-1 (válvula de bola de 3/4)	1	Pieza	700.00	700.00	700.00
Reactor anaerobio r-2 5000l	1	Pieza	5,000.00	5,000.00	5,000.00
Bomba moyno modelo 35601 1 1/2 succión 1 1/4 descarga, 1.35kw	1	Pieza	8,000.00	8,000.00	8,000.00
Válvulas para tubería de conducción sustr	10	Pieza	50.00	500.00	500.00
Conectores para tubería	1		1,000.00	1,000.00	1,000.00
Tubería de conducción de gas rollo 13mm	1	Pieza	3,500.00	3,500.00	3,500.00
Conectores y válvulas para tubería codo 90	3	Pieza	16.00	48.00	48.00
Conectores y válvulas para tubería tee	4	Pieza	16.50	66.00	66.00
Conectores y válvulas para tubería adaptador macho pead	13	Pieza	83.00	1,079.00	1,079.00
Conectores y válvulas para tubería válvulas de bola de acero inoxidable 304 1	5	Pieza	220.00	1,100.00	1,100.00
Filtro de remoción de H ₂ S y H ₂ O	1	Pieza	1,500.00	1,500.00	1,500.00
Medidor de gas tipo diafragma	1	Pieza	550.00	550.00	550.00
Bolsa fabricada a base de lona de poliéster 2.0m ³	1	Pieza	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Regulador de gas 0.8m ³ /h	1	Pieza	150.00	150.00	150.00
Manómetro 0-130cmHg; resolución 5cmH ₂ O	1	Pieza	70.00	70.00	70.00
Tubería de suministro de gas	1	Pieza	250.00	250.00	250.00
Misceláneos aditamentos	1	Pieza	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Válvulas para tubería de conducción de sustrato válvula PVC 38mm	10	Pieza	50.00	500.00	500.00
Obra civil (infraestructura, eléctrica, herrería, etc.)	1	Pieza	82,000.00	82,000.00	82,000.00
Tubería de conducción de sustrato manguera verde de olivo 38mm	8	Pieza	50.00	400.00	400.00
Tubería de conducción de sustrato PVC hidráulico cedula 40 de 38mm	12	M	25.00	300.00	300.00
Subtotal					129,063.00

Los ingresos en este caso se considera que provienen exclusivamente de la disminución en el consumo de gas LP a causa de la contribución del biogás generado mediante la descomposición de los residuos sólidos orgánicos. A modo de cuantificar estos ingresos, se toma como referente el precio de gas LP por Kg en el Distrito Federal, que para el 2015 se estima en \$14.14 pesos /Kg de gas LP con una tasa media de crecimiento anual del 15%. Puesto que la densidad del gas LP en su estado líquido es de 553 Kg/m³, el costo del gas LP por litro resultó de \$ 7.97 pesos/L gas LP. De acuerdo a Valdéz (2014) 1 m³ de biogás, con una fracción molar del 56% de CH₄, es equivalente a 0.88 L de gas LP, de esta forma el ahorro resultante por la disminución del consumo de gas LP resulta de \$7.01 pesos/m³biogás.

Tabla 5.17 Atributos técnicos y operarios de la planta de bigas (a partir de Juárez, 2012)

Atributo	Valor estimado	Magnitud anual (270 días)
Residuos sólidos orgánicos procesados	40.46 kg/día	10.52 t/año
Consumo de energía eléctrica	10.36 kWh/día	2,693.60 kWh/año
Consumo de agua potable	0.050 m ³ /día	13.00 m ³ /año
Producción de biogás	6.10 m ³ /día	1586.00 m ³ /año
Porcentaje de CH ₄	56%	56%
Volumen de CH ₄	3.42 m ³ /día	888.16 m ³ /año
Ahorro por consumo de biogás	7.01 m ³ /día	1892.70 m ³ /año

Finalmente, dado que se trata de una evaluación económica, se analiza un escenario en el cual no hay participación de capital de terceros. Se considera entonces que se dispone de recursos propios suficientes para ejecutar la propuesta descrita. La tasa mínima de rendimiento aceptable (TREMA) aparejada al capital propio se asumo de 6% anual. En cuanto al horizonte de vida útil de la planta de biogás, se elige un lapso de 20 años. Las mencionadas suposiciones de tipo económico se concentran en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18 Datos de entrada para la evaluación económica de la planta de biogás

Concepto	Monto estimado	Tasa de incremento anual
Inversión inicial	\$129.063.00	NA
Costos fijos	1000	3.0i%
	5000 por lustro	NA
Costo Variable por m ³ de biogás<	\$2.12 pesos (electricidad)	11.1%
	\$0.36 pesos (agua potable)	3.0%
	\$1.58 pesos (otros costos y man)	3.0%
Ingresos	7.01 pesos (m ³ de biogás)	15%

Con los datos previamente designados, se evaluaron los indicadores mas importantes para conocer la rentabilidad del proyecto. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.19.

La tasa interna de retorno (TIR) supera en 7% a la TREMA. La tasa interna de retorno de este proyecto indica que con una tasa de actualización del 6% estará recuperando lo invertido con una seguridad del 13%. La relación beneficio costo de este proyecto es de \$1.27 pesos, lo que indica que por cada peso invertido se estará ganando \$0.27 centavos.

La interpretación de la VAN: valor actual neto del proyecto es de \$67,622.03 pesos lo que indica que este es el costo actualizado del proyecto a 20 años. El punto de equilibrio para el año 1 es de 20% lo que indica que se debe vender ese porcentaje del producto para no registrar pérdidas ni ganancias. En pesos representa la cantidad de \$2.261.02 pesos, que expresado en términos de m^3 de biogás, se deberán producir 322.54 m^3 de biogás al año para no tener pérdidas.

El periodo de cancelación, esto es, el tiempo necesario para que los ingresos derivados del proyecto salden el monto de inversión inicial, ocurre hasta el año 18, cerca del límite presumible de vida útil de la instalación de la planta de biogás. En la Tabla 5.19 se muestra los indicadores de rentabilidad económica calculados para la planta de biogás.

Tabla 5.19 Indicadores de rentabilidad económica calculados para la planta de biogás

Indicador	#
VAN	\$67,622.03
TIR	13%
TREMA	6%
Relación B/C	\$1.27
Punto de equilibrio	20%
Periodo de cancelación	18 años

5.4.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PLANTA DE BIOGAS IMPLEMENTANDO EL SM100 Y EL PROTOTIPO DE TRITURADORA

De acuerdo a los indicadores económicos mostrados en la Tabla 5.19 se analiza que es viable invertir en el proyecto. Ahora se analiza en invertir en un molino triturador SM100 de la marca alemana Retsch con un precio de \$105,731 pesos. El molino de corte está dotado de un rotor de corte paralelo que fue desarrollado especialmente para la trituración de cortes blandos, semiduros, elásticos y fibrosos. En la Tabla 5.20 se muestra el molino con sus especificaciones. Con este molino triturador se pretende reducir el tiempo de pre-triturado un 50%, así como el tiempo de operación de la planta y la mano de obra de 3 estudiantes a solo uno. Con esto, se aumenta la inversión inicial a \$231,794.00 pesos y se considera que se aumentará los residuos sólidos orgánicos procesados en un 50% por lo tanto el biogás, de 40.46 kg/día a 60.69kg/día, la producción de biogás por día será de 9.15 m^3 Otra opción de inversión es el prototipo de trituradora que se realizó, la cual tiene un costo total de \$6,921.96 pesos. En la Tabla 5.21 se puede observar sus especificaciones.

Tabla 5.20 Especificaciones del molino triturador SM100 a) Molino SM100, b) Rotor de corte paralelo, c) Ejemplo de aplicación.

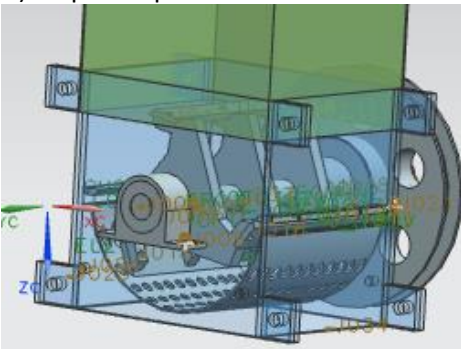
Aplicación	reducción de tamaño	
Costo	\$105,731.00	
Campos de aplicación	Agricultura, alimentos, biología, ingeniería / electrónica, medicina / farmacia, medio ambiente / reciclaje, química / plásticos	
Tipo de material	Blando, semiduro, elástico, fibroso	
Principio de molienda	Cizalla, corte	
Granulometría inicial	< 60 x 80 mm	
Granulometría final*	0.25 - 20 mm	
Velocidad a 50 Hz (60 Hz)	1,500 min ⁻¹	
Diámetro del rotor	129.5 mm	
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	
Alimentación de red	Trifásica	
A x H x F cerrado	582 x 1675 x 700 mm	
Peso neto	73 kg sin tolva, rotor y soporte	

a) Molino triturado SM100

b) Rotor de corte paralelo y cámara de trituración

c) Ejemplo de aplicación

Tabla 5.21 Especificaciones del prototipo de trituradora. A) Modelo en NX,B) Eje con 3 rotores acoplados. C) Ejemplo de Aplicación

Aplicación	Reducción de tamaño	A) de prototipo de trituradora. 
Costo	\$6921.96	
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	B)3 Rotores acoplado al eje y a las cuchillas 
Motor	Motor bifásico	
Potencia motriz	1.5 Hp	
A*H*F	500 x 1500 x 1400 mm	
Peso Neto	60 Kg	
C) Ejemplos de aplicación 		

Los demás datos permanecen constantes de acuerdo a la evolución económica sin la inversión de una máquina de pre-triturado. En la Tabla 5.22 se compara los datos de entrada para la evaluación económica implantando cada máquina en la planta de biogás. Con los datos previamente designados se evaluaron los indicadores importantes para cada una de las máquinas y así conocer la rentabilidad de invertir en cada una de ellas. Los resultados obtenidos se comparan con los previamente obtenidos y se muestran en la Tabla 5.23. La tasa interna de retorno (TIR) para el molino SM100 fue de 13%, en comparación con la del prototipo de trituradora donde la TIR es de 18%.

Tabla 5.22 Datos de entrada para la evaluación económica implementando cada máquina en la planta de biogás

Concepto	Monto estimado	Monto estimado	Tasa de incremento anual
	Molino triturado SM100	Prototipo de trituradora	
Inversión inicial	\$231,794	\$135,894.96	NA
Costos fijos	1000	1000	3.0i%
	\$5000 pesos por lustro	\$5000 pesos por lustro	NA
Costo Variable por m^3 de biogás<	\$2.12 pesos (electricidad)	\$2.12 pesos (electricidad)	11.1%
	\$0.36 pesos (agua potable)	\$0.36 pesos (agua potable)	3.0%
	\$1.58 pesos (otros costos y mantenimiento)	\$1.58 pesos (otros costos)	3.0%
Ingresos	9.15 pesos m^3 de biogás	9.15 pesos m^3 de biogás	15%

La relación costo beneficio implementando el molino SM100 es de \$1.28 pesos lo que indica que por cada peso invertido se estará ganando \$0.28 pesos mientras que la relación B/C del prototipo de trituradora es de \$1.77 pesos. Lo cual es una ganancia de \$0.77 pesos por cada peso invertido. El valor actual neto del proyecto con el molino SM100 es de \$98,576.34 pesos. Lo que indica que este es el costo actualizado del proyecto a 20 años. Por otro lado, el VAN implementando el prototipo de trituradora es de \$197,386.34 pesos a 20 años. El punto de equilibrio para el Molino SM100 al año 1 es de 9% lo que indica que se debe vender ese porcentaje del producto para no registrar pérdidas ni ganancias. En pesos representa la cantidad de \$1,591.89 pesos, que expresado en términos de m^3 de biogás, se deberán producir 227.08 m^3 de biogás al año para no tener pérdidas. En este caso implementando el prototipo de trituradora el punto de equilibrio es de 9% ya que se planea tener ingresos similares. El periodo de cancelación para el SM100 ocurre hasta el año 20, cerca del límite presumible de vida útil de la instalación de la planta de biogás, mientras que para el prototipo ocurre en el año 15. Ahora se observa con claridad que implementar el pre-triturador a la planta de biogás tendrá mayores beneficios económicos que implementar el molino SM100, ya que tiene mejor indicadores económicos, como se muestra en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23 Comparación de indicadores de rentabilidad económica implementando el molino SM100 y el prototipo de triturador calculados para la planta de biogás

Indicador	Sin pre triturador	SM100	Prototipo
VAN	\$67,622.03	\$98,576.34	\$197,386.35
TIR	13%	13%	18%
TREMA	6%	6%	6%
Relación B/C	\$1.27	\$1.27	\$1.77
Punto de equilibrio	20%	9%	9%
Periodo de cancelación	18 años	20años	15años

5.5 OPERACIÓN DEL PROTOTIPO DE TRITURADORA

Se ha concluido el ensamble del prototipo de trituradora con los requerimientos obtenidos a través de la técnica de Despliegue de la Función de Calidad (que por sus siglas en inglés es QFD) se tuvo especial cuidado en diseñar el eje, los rotores, las cuñas y las cuchilla. De acuerdo a la técnica QFD, estas partes son de vital importancia para el funcionamiento correcto del prototipo. Una vez diseñadas estas partes se utilizó el software de diseño NX 7.5 para crear el diseño conceptual del prototipo, así como los planos de cada pieza, sub-ensamble y ensamble final.

A partir de este diseño se calcularon los factores de seguridad y los esfuerzos máximos sufridos por la operación normal de la máquina en las partes de vital importancia (rotor, eje, cuña y cuchillas), para asegurar que estas no fallarían una vez que la máquina esté en funcionamiento. Ya que los resultados fueron satisfactorios, se concluyó que el diseño es viable y se procedió a la construcción del prototipo. Con ayuda del financiamiento de CONACYT se logró conseguir parte del material utilizado y se pagó el corte por chorro de agua de las placas de acero inoxidable. En este capítulo describe como se construyó y ensambló la máquina.

Para realizar las pruebas con el prototipo de trituradora, se recolectó desperdicio de comida aproximadamente 50 kg, en especial desperdicio de fruta del restaurante cibarium, y se dispuso a triturarlas con la máquina, los resultados fueron satisfactorios ya que el prototipo trituraba los desperdicios de fruta sin mayor problema y con mucha rapidez. En Tabla 5.24 se puede observar el proceso de operación de la planta, con su tiempo estimado y el número de personas que se necesitan para cada subproceso.

Tabla 5.24 Comparación de la operación, con y sin el prototipo.

Proceso con un carga de 50kg	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
Pre tratamiento (picado)	150	3	25	1
Triturador insikerator	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	
Total	349min=5.81horas		204min=3.4horas	

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluyó el ensamble de la trituradora con los requerimientos obtenidos a través del Despliegue de la Función de Calidad. A partir de este diseño se calcularon los factores de seguridad y los esfuerzos máximos sufridos por la operación normal de la maquina en las partes de vital importancia (rotor, eje, cuña y cuchillas), para asegurar que estas no fallarían una vez que la máquina esté en funcionamiento. Ya que los resultados fueron satisfactorios, se concluyó que el diseño es viable y se procedió a la construcción del prototipo. Con ayuda del financiamiento de SECITI y PAPIIT se logró conseguir parte del material utilizado y se pagó el corte por chorro de agua de las placas de acero inoxidable.

La máquina está diseñada para obtener un flujo de materia orgánica de 50kg en media hora de trabajo, la cual accionada por un motor de 1 Hp y su torque es transmitido hacia el eje de trituración por medio de dos poleas. La eficiencia de trituración del prototipo de triturado fue el esperado, ya que el producto final tiene las dimensiones deseadas, el tiempo de trabajo de triturado es relativamente corto, comparándolo cuando no existía el prototipo y se tomaba un tiempo de aproximadamente 3 horas y el trabajo de dos personas para seleccionar y picar la materia orgánica, para posteriormente procesarlo en el triturador InSinkErator con una relación de 1 cubeta de materia orgánica y una cubeta de agua, cabe mencionar que el agua ayuda al triturador InSinkErator a procesar la materia orgánica. Ahora con el prototipo finalizado se redujo este tiempo a media hora de trabajo y el personal a una persona y fácilmente se puede aumentar la carga de trabajo de la planta de biogás en un 50%.

El costo final del prototipo de trituradora es la suma del costo de las placas de acero inoxidable que es de \$2,414.96 pesos, más las piezas adquiridas con un valor de \$1,539.00 pesos, el corte con chorro de agua por parte del CCADET tuvo un valor de \$1,968.00 más la soldadura de las cuatro esquinas de la carcasa da un costo total de \$6,921.96 pesos. Comparando este valor con una maquina similar de la marca Retsch que tiene un valor de 6,090 euros lo que equivale a \$105,731 pesos, lo que representa una ventaja económica por parte del prototipo de trituradora contra la máquina en el mercado.

En la evaluación económica se observa con claridad que implementar el pre-triturador a la planta de biogás tendrá mayores beneficios económicos que implementar el molino SM100, ya que tiene mejor indicadores económicos

RECOMENDACIONES

El QFD elaborado para establecer las especiaciones de ingeniería es un tanto complejo y debe ser replanteado. Se requiere una verdadera identificación del cliente potenciales por lo que se necesita ampliar el número de personas encuestadas. En este estudio se utilizó un diseño analítico combinado un poco con análisis numérico para obtener esfuerzos en las partes principales de la máquina, para próximos trabajos se recomienda solo utilizar un solo análisis, ya sea numérico o analítico ya que nos arrojarán resultados más cercanos a la realidad. A su vez se recomienda dedicarle mayor tiempo de estudio a las vibraciones que puede presentar la máquina.

BIBLIOGRAFIA

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, Ciudad de México.

Esposito, G., Frunzo, L., Panico, A. y Pirozzi, F, (2011). Modeling the effect of the ORL and OFMSW particle size on the performances of an anaerobic co-digestion reactor. *Process Biochemistry*, 46 (2), 557-565

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

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

Hernández. 2010. Nuevas Tecnologías para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos en el D.F. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

Hills, D.J. y Nakano, K (1984). Effects of particle on anaerobic digestión of tomato solid wastes. *Agricultural Wastes*, 10 (4), 285-295

IIUNAM, 2009. Estudio de evaluación de tecnologías alternativas o complementarias para el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos. Publicación del Instituto de Ingeniería UNAM. Ciudad de México, México.

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

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

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

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. Ciudad de México, México.

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

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

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, Ciudad de México, México.

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

Rubio, A. J. 2005. Diseño de una maquina 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, Ciudad de México, México.

SEDESOL, 2001. Manual técnico-administrativo para el servicio de limpia municipal. Publicación de la Secretaría de Desarrollo Social. Ciudad de México, México.

SEDESOL, 2011. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. Publicación de la Secretaría de Desarrollo Social. Ciudad de México, México.

SEDESOL, 2012a. Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo. Publicación de la Secretaría de Desarrollo Social. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. Ciudad de México, México.

SEDESOL, 2012b. Reciclaje de residuos sólidos urbanos Publicación de la Secretaría de Desarrollo Social. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. Ciudad de México, México.

SEDESOL, 2012c. Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo. Publicación de la Secretaría de Desarrollo Social. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. Ciudad de México, México.

SEMARNAT, 2009. Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012. Publicación de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, 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.

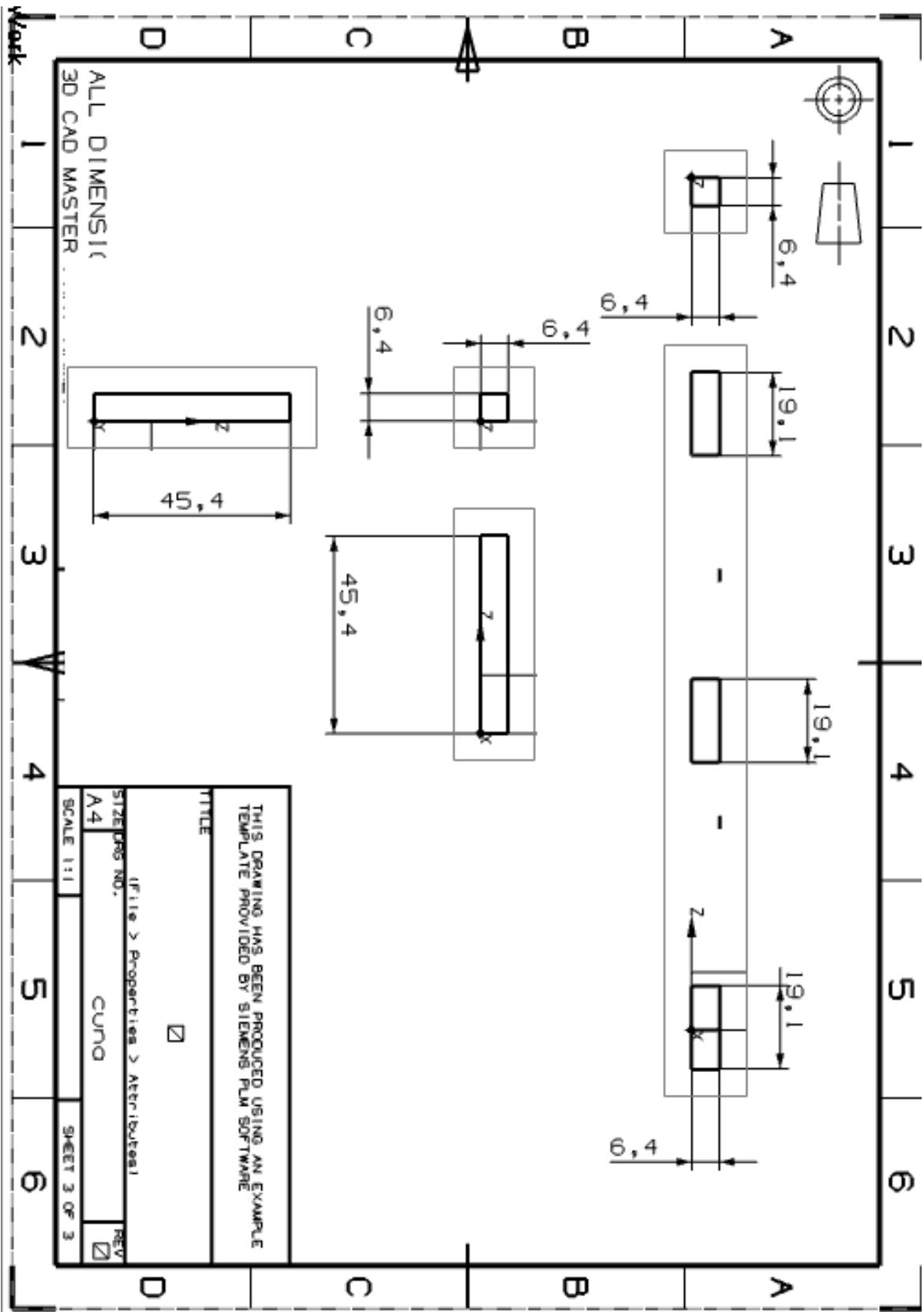
Shigley J. y E. Mischke C . R. 1989. Diseño en Ingeniería Mecánica. Ed Mc Graw Hill. 5 edición.

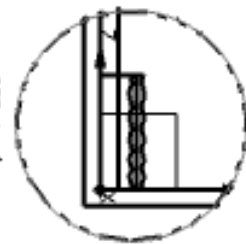
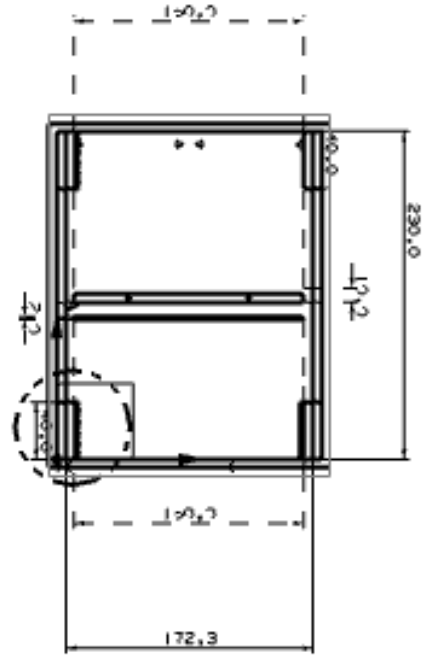
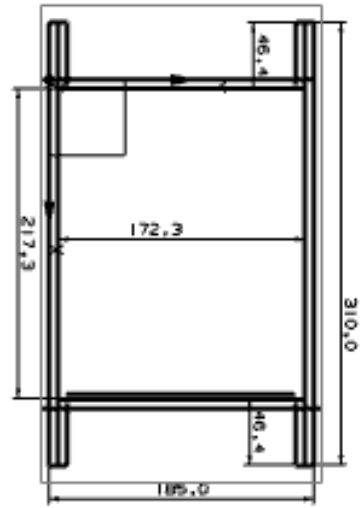
Varnero, M. 2011. Manual de biogás. Editado por Organización de las Naciones

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.

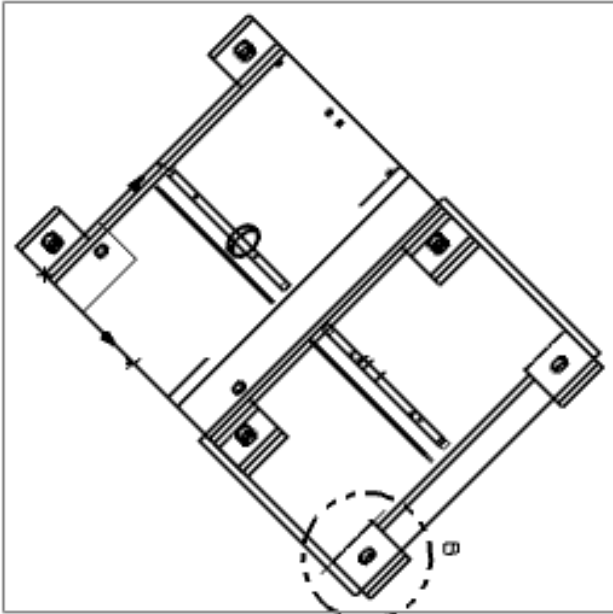
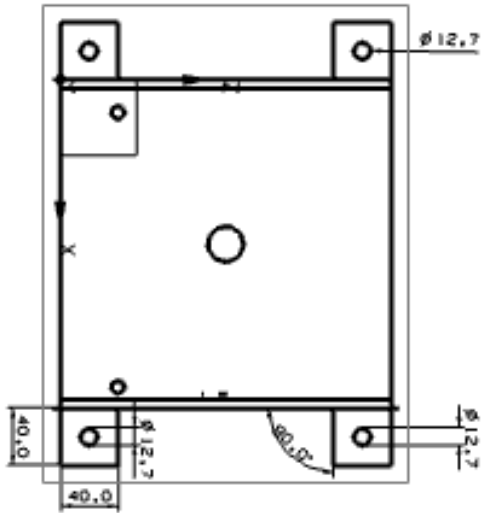
ANEXO A

PLANOS

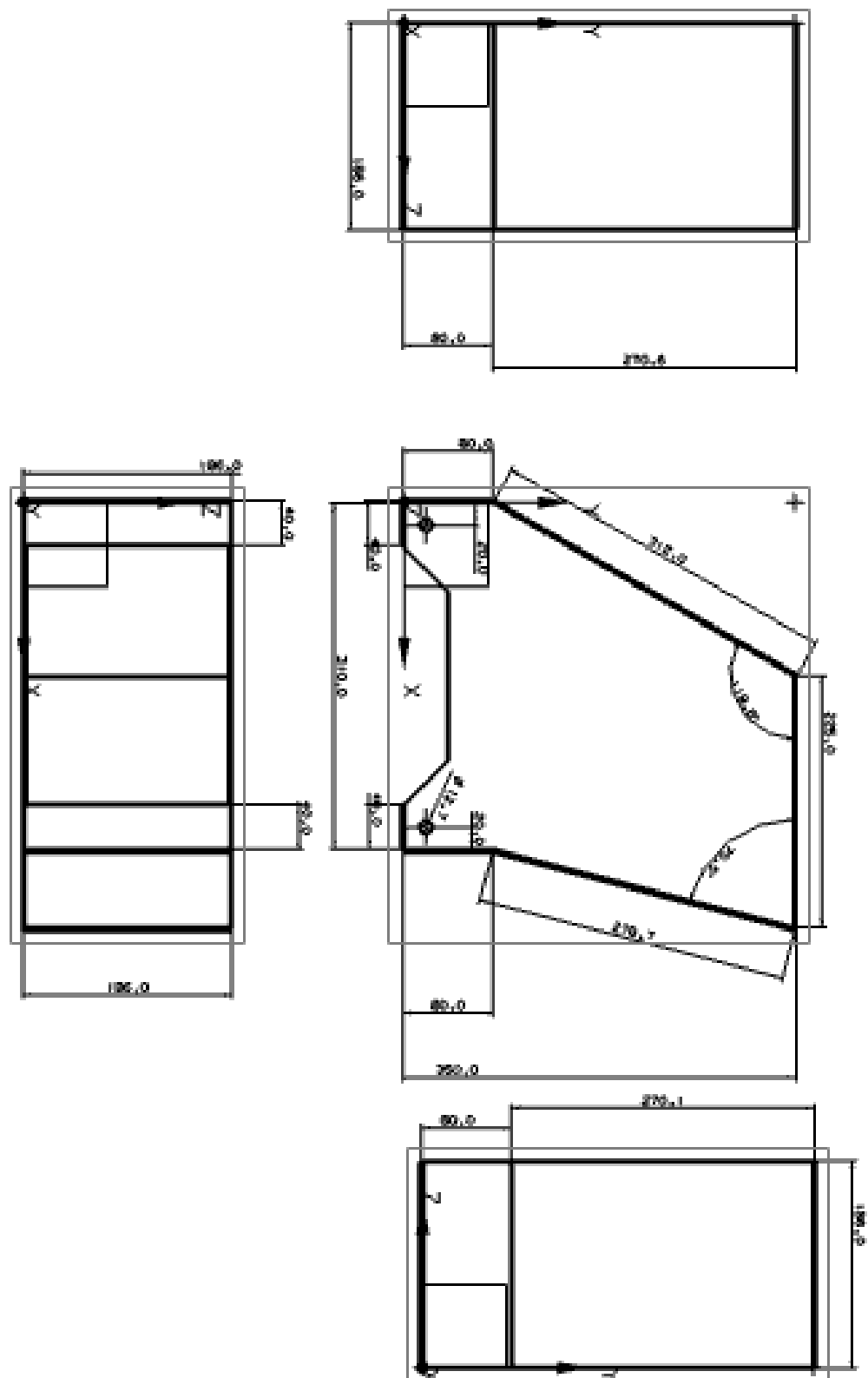


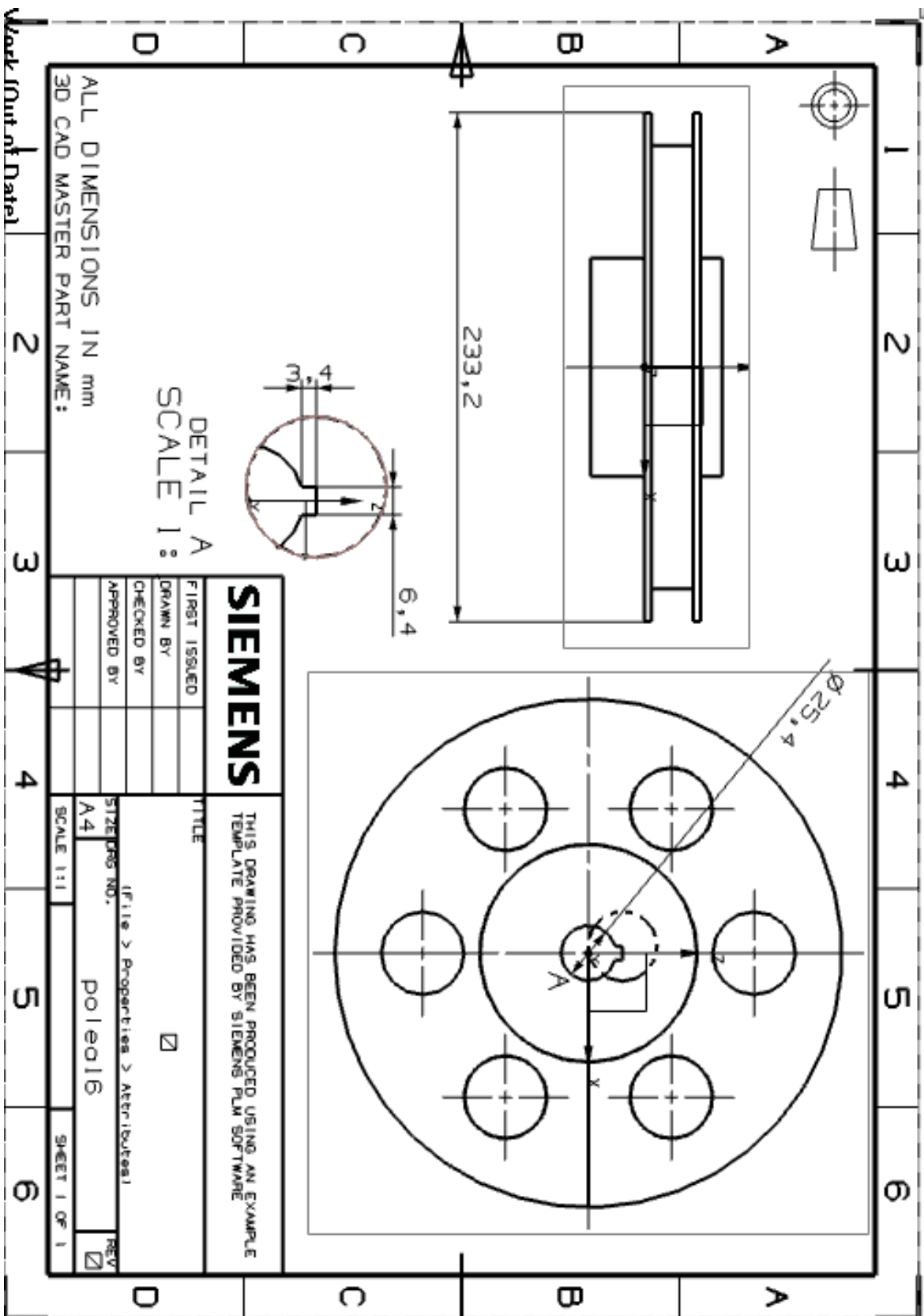


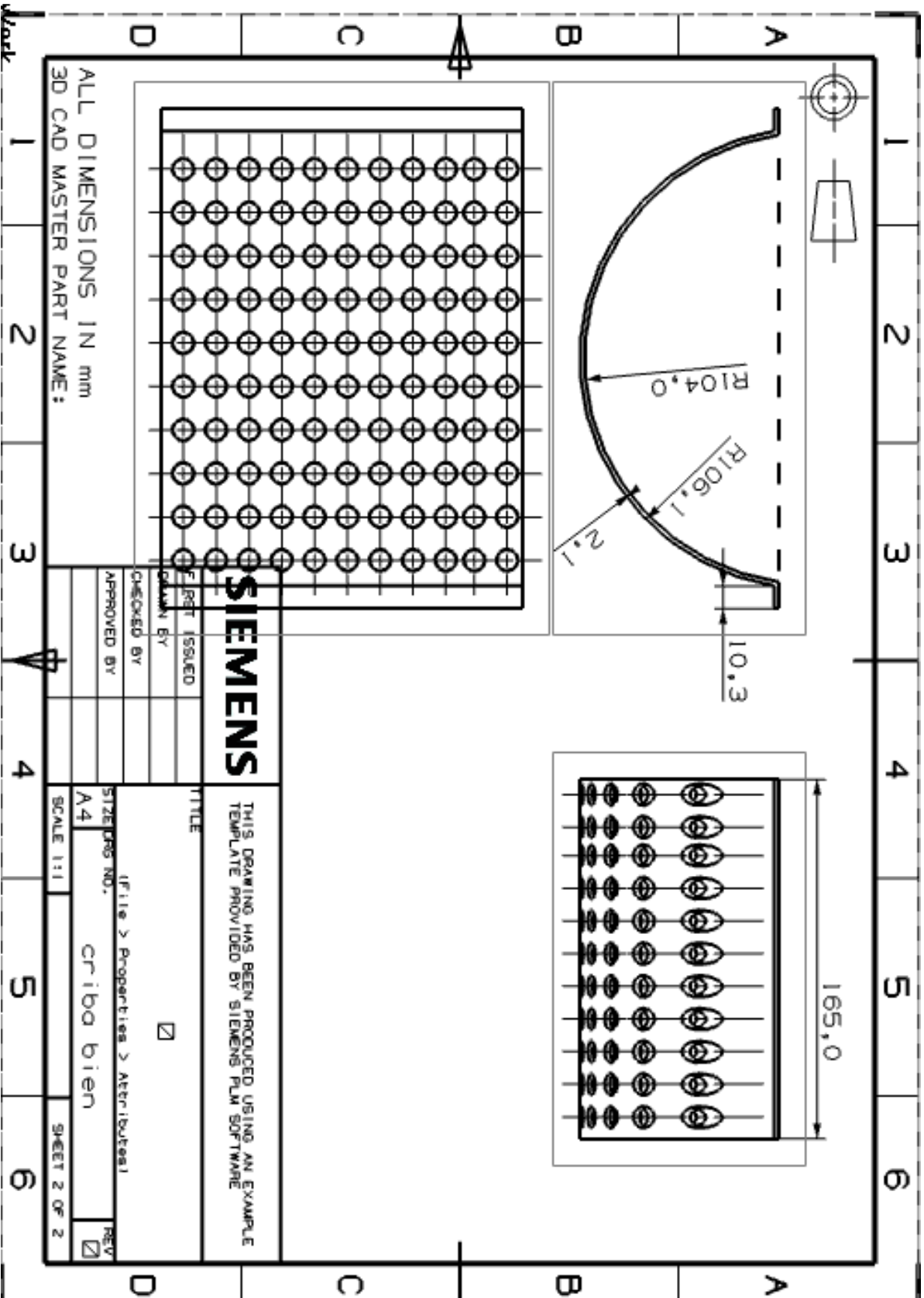
DETAIL A
SCALE 1:1
Aqui se indica la soldadura

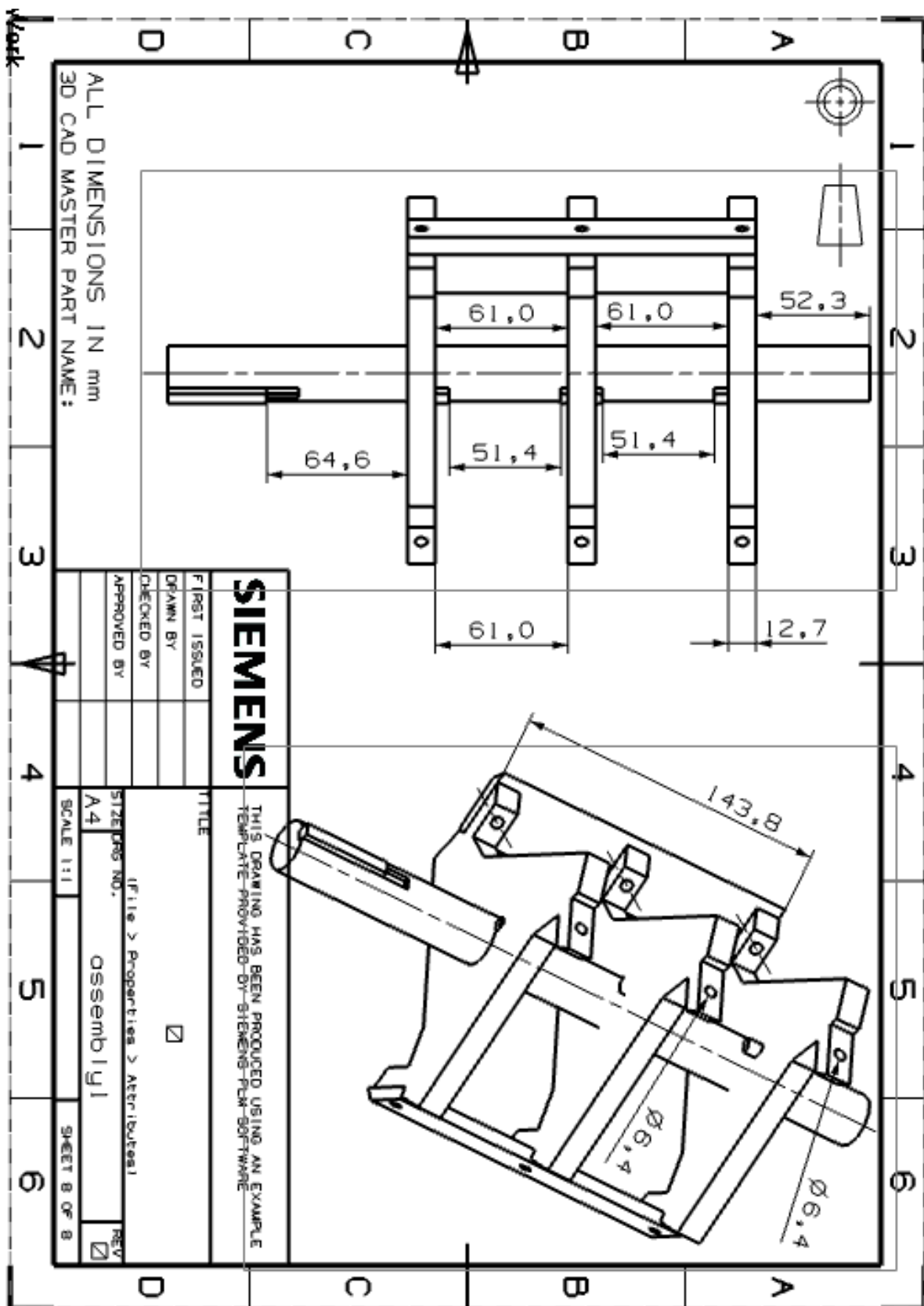


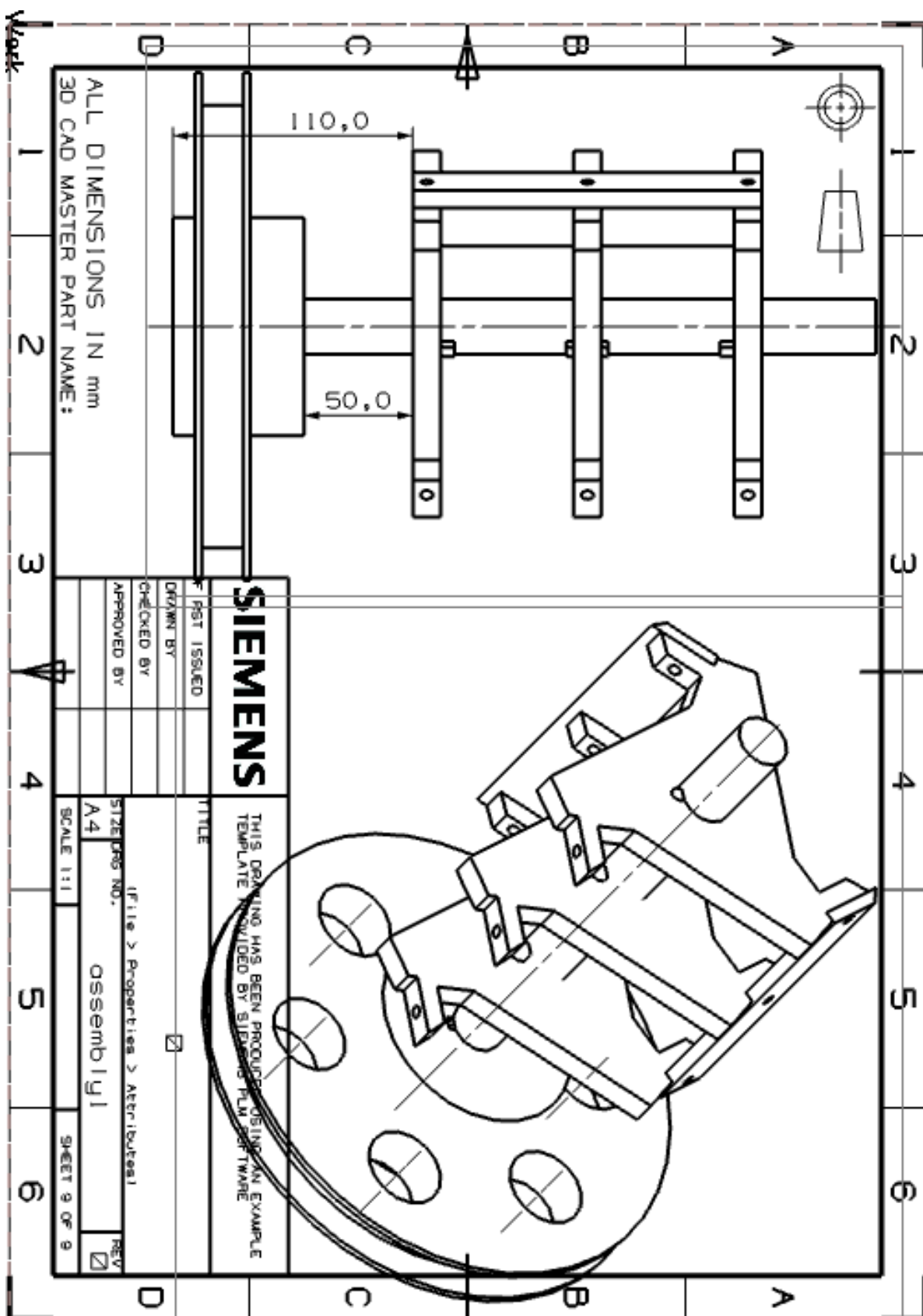
DETAIL B
SCALE 1:1
Esta parte se soldado con una
placa de 4mm

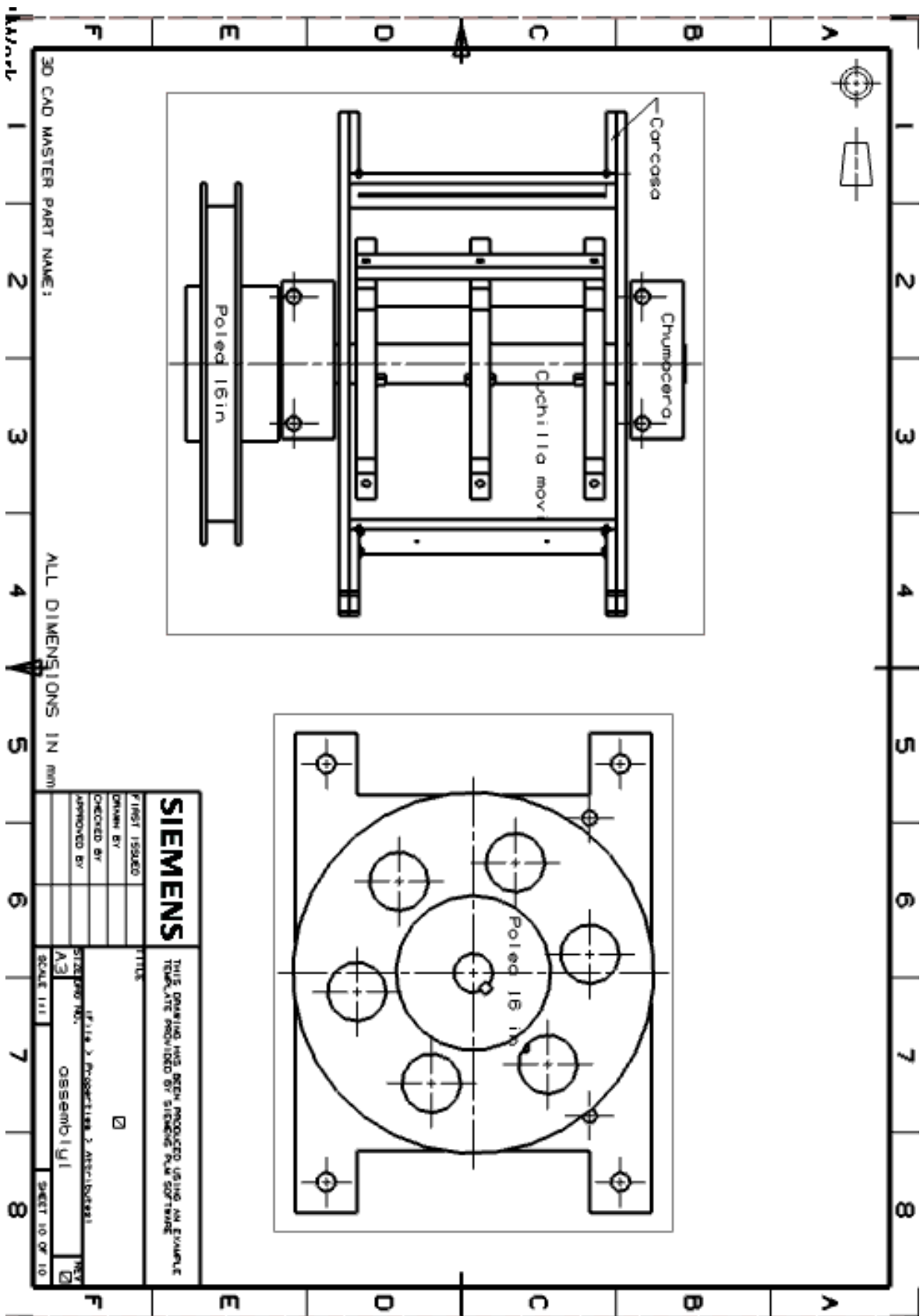


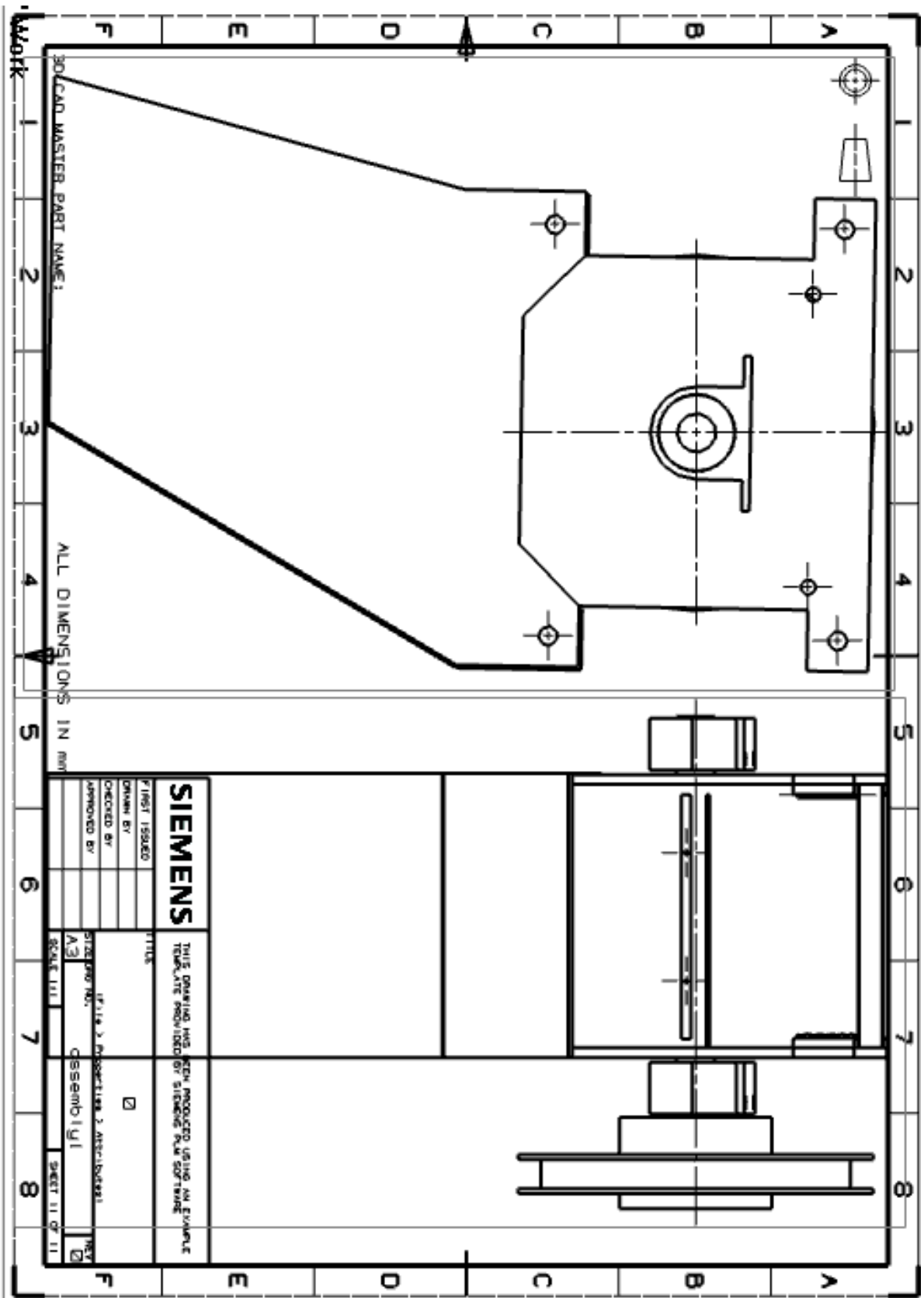












ANEXO B

JORGE RAMIREZ ORTEGA

RFC: RAOJ6404232E7

Tel: 59540887 / 59542981

email: balerosybandasjro@hotmail.com

Factura

Domicilio y Expedido en:

Calle: Juárez Sur No. 351

Col. San Lorenzo, CP: 56140

Texcoco, México

Lugar de expedición: Texcoco, México

Datos del receptor

Cliente UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



RFC: UNA2907227Y5

Domicilio:

Calle: AVENIDA UNIVERSIDAD No. 3000

CP: 04510

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO C.U., DEL. COYOACAN, D.F.

Moneda: PESOS Tipo de cambio 1.000000

Comprobante Fiscal Digital por Internet

Folio fiscal: 6e10ebdc-699f-436b-88ed-df17ae7e64d1

Número de comprobante: B220

Forma de pago: Pago en una sola exhibición

Fecha comprobante: 2014-11-10T10:32:05

Fecha de certificación del CFDI: 2014-11-10T10:54:32

Método de pago y Cuenta:

Efectivo

Régimen fiscal: Régimen Intermedio de las Personas Físicas

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Importe
1.00	PZAS.	16 1RB POLEAS	\$ 556.03	\$ 556.03
1.00	PZ	3 1RB POLEA	\$ 94.83	\$ 94.83
2.00	PZAS.	6205-2RS BALEROS	\$ 68.97	\$ 137.94
2.00	PZAS.	VER-205-16 CHUMACERAS	\$ 137.93	\$ 275.86
2.00	PZAS.	B-65 BANDAS	\$ 77.59	\$ 155.18

Subtotal \$ 1,219.84

LV.A 16.00% \$ 195.17

Total \$ 1,415.01

UN MIL CUATROCIENTOS QUINCE PESOS 01/100 M.N.

"Este documento es una representación impresa de un CFDI"

Número de serie del certificado de sello digital:

00001000000302626182

Número de serie del certificado de sello digital del SAT:

00001000000202809550

Cadena original del complemento de certificación digital del SAT:

[110]e10ebdc-699f-436b-88ed-df17ae7e64d1[2014-11-10T10:32:05]
JWwF+10N1C4HRAW6F5p0acH2DM09B3y++Q9[VU]GhDQxjch2WQwzFdQ8dRjgdBCmsuQ8XH9jLzBB9SuH8H0VRK
/B0Ehgh18BWT05Uwlg5Xg02heCZajQ1qQag1u8dFVtEdM2zdDVWouB8wM9pbe+{000100000002809550}

Sello Digital del Emisor:

JWwF+10N1C4HRAW6F5p0acH2DM09B3y++Q9[VU]GhDQxjch2WQwzFdQ8dRjgdBCmsuQ8XH9jLzBB9SuH8H0VRK
/B0Ehgh18BWT05Uwlg5Xg02heCZajQ1qQag1u8dFVtEdM2zdDVWouB8wM9pbe+

Sello digital del SAT:

uLpAUVnruXnGzHc0114PndEnTJjqrHEDwE6u200Ng7wAND6UAMYwD7EBP30+HR[BCO]UWb0A/U07SDj9U1
CQZ+BDJSM10W6RCLU02VwM+OyXdt1myTFyQKEAJN1R5N89Yr4e4b5A8+





Universidad Nacional
Autónoma de México

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO CCADET



SECCIÓN DE DESARROLLO DE PROTOTIPOS

Cd. Universitaria, 07 de octubre de 2014.

DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNAM
P R E S E N T E

Por este medio le informo que el costo de fabricación de tres rotores de $\frac{1}{4}$ " cuatro tapas $\frac{1}{4}$ " y cinco cuchillas de $\frac{1}{4}$ " en acero inoxidable mediante corte por chorro de agua es de.

\$1,968.00 (MIL NOVECIENTOS SESENTA Y OCHO PESOS 00/100 M.N.)

Condiciones

- 1.- Para la entrega de este servicio se requiere el pago total del mismo.
- 2.- El tiempo de entrega es de un día a partir de la recepción del material en nuestras instalaciones.
- 3.- Cualquier modificación solicitada por usted podría tener un costo y tiempo adicional dependiendo del caso.
- 4.- Esta cotización tiene una vigencia de 30 días.

PAGOS CON RECURSOS DE LA UNAM

Si su pago va a hacer con recursos de la UNAM, tendrá que solicitar a su área administrativa se realice una transferencia de recursos a través de la contaduría general de la UNAM a las siguientes cuentas según corresponda

RECURSOS	CUENTAS CCADET
PAPITT	206.311.050
INGRESOS EXTRAORDINARIOS	207.311.050
PRESUPUESTO	208.311.050
CONACYT	207.311.050
ICYTDF	207.311.050

Una vez elaborada la transferencia por su unidad administrativa, solicite le proporcionen una copia, misma que deberá enviarnos.

Quedo a sus órdenes para cualquier aclaración.

Atentamente


M. en I. Rigoberto Nava Sandoval
Jefe de la Sección de Desarrollo de Prototipos
Tel.: 56 22 86 02 ext. 1145 ó 1209
rigoberto.nava@ccadet.unam.mx



CORTES DE ACERO,
S.A. DE C.V.

CORTE DE PLACA
DE ACERO AL
CARBON E
INOXIDABLE Y
MAQUILA

FACTURA 1566

Num. Pedido N/A

CORTES DE ACERO SA DE CV

RFC: CAC000910V53

Régimen PERSONA MORAL

PEDRO MARIA ANAYA 210

COL. MARTIN CARRERA CP 07070

DISTRITO FEDERAL

GUSTAVO A MADERO DISTRITO FEDERAL País MEXICO

Tel: 57573911

DATOS DEL CLIENTE

EXPEDIDO EN

Num: 050 - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
RFC: UNA2908227Y5
AVENIDA UNIVERSIDAD 3000
COL. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CP 04510
MEXICO, D.F.
COYOACAN DISTRITO FEDERAL País MEXICO

GUSTAVO A MADERO a 02-10-2014

Cantidad	U Medida	Descripción	P. Unitario	Importe
1	PIEZA	PLACA 1/2" ESP. X 20 CM X 60 CM T-304	857	857.00
1	PIEZA	PLACA 1/4" ESP. X 50 CM X 50 CM T-304	829	829.00
1	PIEZA	TRAMO DE BARRA MACIZA 1" Ø X 35 CM LONG T-304	120	120.00

OBSERVACIONES

Cantidad con Letra

SUBTOTAL \$ 1,806.00
Iva 16% \$ 288.96

DOS MIL NOVENTA Y CUATRO PESOS 96/100 M.N.

TOTAL \$ 2,094.96

Forma de Pago: Pago en una sola exhibición

Método de Pago: Efectivo Últimos 4 dígitos: NO IDENTIFICADO

Folio Fiscal 0F5290C6-3027-479E-9F72-716CDE110DB8

No de Serie del CSD del Emisor 000010000000203116192 Fecha y Hora de Emisión 2014-10-02T11:33:48

No de Serie del CSD del SAT 000010000000301032322 Fecha y Hora de Certificación 2014-10-02T11:33:54

Sello Digital del CFDI

CY6tp4fcOoloUyHjaac+2rcC+cVfwFrwwJW2Qr330j0ABGE7ACXuwruzdhtNR38KpWbeQ5ynioLy65y
azq7NqS8mwdCwDay9WQmG56Z0LBQ07vUULJyZRtNyZc8Xm55EZr+FDQjD8DzeduQAFvm2S23w+





lunes, 22 de septiembre de 2014

Cotización No.:1409-RETG-477

Ing. Erik Camacho
UNAM/Facultad de Ingeniería
16 de septiembre No. 4, San Marcos Nepantla
C.P. 55887
Acolman, Estado de México
México.

Estimado Ing. Camacho:

Agradecemos mucho su interés por los **Molinos de Trituración SM 100** de la compañía alemana **Retsch GmbH**.

Para su información, anexamos nuestra cotización.

RETSCH es la compañía No. 1 a nivel mundial en molinos y tamizadoras para el laboratorio con una excelente reputación en la industria metalúrgica, de minerales y de la construcción entre otras.

Si usted lo requiere, le podemos proporcionar la información necesaria de los clientes de Retsch en Europa y México.

Advanced Analytical Systems es el representante exclusivo de **Retsch** en México y cuenta con personal experimentado en el área de ventas y soporte técnico, que han trabajado con fabricantes de equipo de laboratorio por más de dos décadas.

Le podemos proporcionar servicio calificado, refacciones y consumibles con los mejores precios del mercado. Nuestros servicios se ofrecen en la República Mexicana a través de México, D.F., Guadalajara, Jalisco y Monterrey, N.L.

Yo personalmente me pondré en contacto con usted para darle seguimiento a su cotización. Si requiere de más información, no dude en comunicarse con nosotros.

Gracias,

Advanced Analytical Systems, S.A. de C.V.

Isidro González Arias
Gerente General

PART	NO. ARTICULO	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO (Euros)
1	20.727.0008	MOLINO DE CORTE RETSCH SM100 El molino de corte está dotado de un rotor de corte paralelo que fue desarrollado especialmente para la trituración de materiales blandos, semiduros, elásticos y fibrosos. Este aparato puede moler muchos tipos de muestra en una sola operación y sin necesidad de trituración previa. • Opera a: 3x 220 V / 60 Hz. • Tamaño de alimentación: hasta 80x60 mm. • Acabado final: aprox. 0.25-20 mm . Rotor de acero Inoxidable. Recipiente de recolección 5 litros con manguera filtrante. 	€ 6,090
2	22.608.0021	Rotor de corte paralelo de Acero Inoxidable.	€ 2,210
3	22.785.0007	Tolva Universal, con empujador de plástico.	€ 1,120
4	03.647.00??	Tamiz anular de Acero Inoxidable, de diámetro de abertura a escoger de: 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50, 2.00, 4.00, 5.00, 6.00, 8.00, 10.00 y 20.00 mm, c/u (a elegir).	€ 160
5	22.824.0005	Base para montar el molino, con ruedas	€ 890
		Precio Total DDP Guadalajara, Jalisco, o Cd. de México	€ 10,470 euros + I.V.A.
		Opciones:	
6	22.408.0004	Tolva universal "Universal" con empujador de madera	€ 1,350