

01127  
2



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**TRITURADORA DE PLASTICOS**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO**

**P R E S E N T A N**

**GABRIEL ALVAREZ RAMOS  
JOSE ANTONIO MENDEZ UGALDE  
JORGE OSWALDO GARCIA SAENZ**

**DIRECTOR DE TESIS: ING. JESUS ROVIROZA LOPEZ**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO D.F.**

**AGOSTO 2003**

**A**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **AGRADECIMIENTOS:**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México, por habernos otorgado la mejor herencia que se le puede legar a un ser humano:  
Educación y Cultura.**

**A la Facultad de Ingeniería, por que en sus aulas aprendimos la responsabilidad que implica el conocimiento y comprensión de los fenómenos físicos de la naturaleza.**

**A Jesús Roviroza López, por habernos otorgado el privilegio de ser nuestro director de tesis, así como su comprensión, tolerancia y aún más, su amistad y paciencia.**

**A todos y cada uno de nuestros Profesores que nos transmitieron sus conocimientos, por toda su dedicación y entrega.**

**A Dios por nuestras vidas y por que sólo él sabe por que suceden las cosas.**

**A Compañeros y Amigos con quienes hemos compartido momentos buenos y malos, dentro y fuera de las aulas.**

**Y a todas y cada una de las personas que hicieron posible llevar a cabo la realización de este trabajo.**

## **DEDICATORIAS:**

*Ante todo a Dios:*

*Por que tú eres mi guía y alumbras el camino que voy recorriendo cada día y si me lo permites, poder seguir disfrutando de momentos como este en la vida.*

*A mis queridos padres:*

*María de la Luz Ramos Regalado y José Luis Alvarez Díaz.*

*Por sus enormes sacrificios, los cuales han realizado para que yo pudiera estudiar una licenciatura, espero que este momento bien valga la pena para reconfortar sus almas, ya que nunca será suficiente para poder pagarles lo que han hecho por mi.*

*Gracias por tener un hogar, el amor y por todos los momentos que hemos vivido juntos en la vida.*

*A quienes confiaron en mi:*

*Mi abuelita: Nieves Regalado Ramírez †*

*Mi hermana : Alma Angélica Alvarez Ramos.*

*Mi cuñado: Andres Garcia Díaz.*

*A todos mis familiares.*

*A mi novia:*

*Gabriela Terrones Guadarrama*

*Gracias a Dios que te puso a mi lado, y por ser un pilar del cual me sostuve para poder llegar a la meta de mi carrera.  
Gracias a ti, por ese infinito apoyo, comprensión y tu gran paciencia así como el gran amor que siempre me demuestras, el cual me hace infinitamente feliz.*

*A quienes me otorgaron amistad y confianza:*

*Mis compañeros, amigos y maestros.*

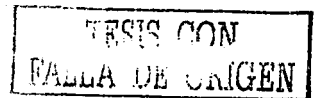
*A mi escuela con mucho orgullo:*

*La Facultad de ingeniería de la UNAM*

*Con agradecimiento, por la brillante asesoría:*

*A los ingenieros: Jesús Roviroza López  
Magdalena Trujillo Barragán  
Victor Vázquez Huarota  
Ubaldo Suárez  
Antonio Zepeda*

*A los técnicos: Miguel, Rafael (papá e hijo), Emilio, Don Luis, etc.*



*Gabriel Alvarez Ramos*

*A mis padres Abenamar Méndez Collado y Amalia Ugalde Gutiérrez por haberme dado la vida, su apoyo incondicional, su amor, comprensión y por ser un ejemplo en mi vida.*

*A mis hermanas Adriana Cecilia y Patricia por haber compartido momentos buenos y malos.*

*Con cariño a mis sobrinos Rodrigo y Alejandro*

*A mis tíos Yolanda, María, Reyna, Edith, Adrian, Alfonso, Lorenzo, Plácido y Jorge quienes contribuyeron con sus consejos en mi formación.*

*A Laura por llenar mi vida con su amor, ternura y comprensión. Por estar conmigo en los momentos buenos y malos, por brindarme su apoyo y amistad incondicionales.*

*José Antonio Méndez Ugalde*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*A Dios:*

*Por haberme permitido el llegar hasta este día de hoy y dejarme disfrutar de todos los momentos y experiencias que por nada cambiaría en la vida.*

*A mis padres:*

*Jorge Alfonso García Torres y Elia Saénz Gonzalez.*

*Que con su gran sacrificio me han dado la oportunidad de ser un profesionista y que en mí ven realizados sus logros como padres.*

*Por tantos momentos que he disfrutado con todos ellos y principalmente por los consejos, enseñanzas y regaños los cuales he aprendido a disfrutar.*

*Y por todo ese amor que me dan como hijo y como ser humano.*

*A mi esposa y a mi hija:*

*Angelica Martínez Blancas y Anette Jan García Martínez*

*Que gracias a Dios las ha puesto en mi vida ya que es una de las mejores cosas que me han sucedido.*

*Por ese gran apoyo, comprensión, paciencia hacia mí y por el gran amor que me demuestran día tras día que me hacen ser el hombre más feliz de la tierra.*

*Que en los últimos años se han vuelto mi más grande fuente de inspiración y uno de mis mejores motivos para seguir siempre hacia delante.*

*A mis amigos:*

*Miguel, Rafa, Rafita y todos los miembros del taller.*

*Que gracias a sus conocimientos de las máquinas herramientas que nos han transmitido, pero sobre todo, por su amistad que es una gran fuente de inspiración para cualquier ser humano.*

*A todos y cada una de las personas y amigos que se me olvida mencionar, pero que fueron piezas importantes para la terminación de mi carrera.*

*Jorge Oswaldo García Saénz.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# MAQUINA TRITURADORA DE PLASTICOS



## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1. IMPORTANCIA DEL RECICLAJE</b>	5
1.1 Los plásticos y el medio ambiente	8
1.2 Desarrollo Sustentable	11
1.3 Mitos y realidades sobre los plásticos	15
<b>2. USOS Y CARACTERISTICAS DE LOS TERMOPLÁSTICOS</b>	18
2.1 El material plástico y su historia	19
2.2 Estructuras básicas de los polímeros	21
2.3 Propiedades y aplicaciones de los termoplásticos	22
<b>3. CARACTERISTICAS DE MÁQUINAS PARA MOLIENDA DE PLÁSTICOS</b>	42
3.1 Tipos de molinos	43
3.2 Molinos convencionales y comerciales	47
<b>4. PRINCIPIOS BASICOS DE LA TRITURACIÓN</b>	54
4.1 La molienda como proceso de reciclado del plástico	55
4.2 Elementos que componen a una trituradora de plásticos	58
4.3 Tipos de rotores	59
<b>5. DISEÑO CONCEPTUAL</b>	61
<b>6. DISEÑO DE DETALLE</b>	87
<b>CONSTRUCCION Y PRUEBAS</b>	102
<b>CONCLUSIONES</b>	110
<b>REFERENCIAS</b>	113
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	115
<b>ANEXOS</b>	117

A

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## PROLOGO

Puede decirse justificadamente que los polímeros, debido a que muchos son sintéticos, son importantes por sus usos, quizá más que otros materiales más conocidos, como los metales y la madera. La mayoría de los polímeros se crearon debido a la demanda de productos con propiedades nuevas y mejoradas. Los métodos para obtener nuevos polímeros y mezclas, así como la investigación sobre sus estructuras y propiedades originan temas de estudio muy interesantes, pero el uso de estos materiales en productos comerciales constituye la fuerza motriz de estos avances.

La transformación de los polímeros como productos de la industria química para generar artículos de consumo común y piezas de uso en la ingeniería, ha crecido a pasos agigantados en las últimas dos décadas. Este trabajo se enfoca principalmente al reciclaje primario (o mecánico) de algunos de los termoplásticos más importantes usados en la industria, el cual consiste en triturar el material ya usado para su posterior reutilización. Más adelante se explicará con detalle los tipos de reciclaje.

Así esta investigación puede servir como referencia a todos aquellos que requieren una visión general del reciclaje de polímeros en un sólo volumen de fácil asimilación. También será útil para el técnico o para el ingeniero que busque información relacionada con este proceso; y una fuente de referencia para cualquier lector.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INTRODUCCION

La presente investigación tiene como objetivo principal, lograr el reciclado de materiales como son los polímeros que se utilizan en nuestros laboratorios, como lo son: poliestireno, polipropileno, polietileno de alta y de baja densidad y el acetal a baja escala ya que enfatiza la importancia del reciclaje primario de los principales termoplásticos y así poder ofrecer una opción viable para la reutilización y mejor aprovechamiento de los residuos generados en la producción de piezas durante la enseñanza y las practicas de laboratorio de plásticos en el departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Todo esto es con el fin de realizar el diseño y fabricación de una máquina trituradora que, además, de ser versátil, practica y funcional, se tenga un verdadero ahorro substancial en el costo de fabricación y un mejor aprovechamiento de los recursos naturales con los que contamos.

El contenido del primer capítulo es de información general sobre la importancia del reciclaje de los plásticos, tanto desde el punto de vista ecológico hasta el económico. En este capítulo queremos dar una visión general y completa de la importancia que tiene el uso de los plásticos dentro de la industria y por lo tanto en la vida diaria, así como de los problemas tanto de tipo ecológico, económico y social que se deriva de la disposición final de estos desechos. Aquí vemos las ventajas del plástico sobre otros materiales de uso común (como son el acero, el vidrio, la madera, etc.) ya que su fabricación requiere menos recursos que otros casos, su ligereza y resistencia medioambiental aportan claras ventajas a su eficacia (transporte, embalaje, etc.), y, además, los plásticos se pueden reciclar.

También describiremos el término Desarrollo Sustentable que es el concepto que nos ayuda a plantear mejor la idea de hacer un uso más consciente de los recursos con los que contamos y así "hacer más con menos" y de este modo hay un desarrollo integral de los tres campos importantes dentro de la sociedad que son el económico, el ecológico y el social.

El segundo capítulo maneja lo concerniente a las características y usos más importantes de los termoplásticos. Aquí veremos detalladamente las clasificaciones más generales de los materiales poliméricos desde diferentes puntos de vista, así como un poco de la estructura

química de los materiales poliméricos termoplásticos que nos interesan para los fines de este trabajo.

Asimismo, tiene el propósito de relacionar de manera sencilla el comportamiento de estos materiales con sus procesos, lo cual evita la complejidad de textos matemáticos y especializados.

En el **tercer capítulo** describiremos los principales tipos de máquinas que existen en el mercado para el triturado de plásticos.

Si se comparan polímeros como el polietileno y nylon con materiales que utilizan comúnmente los ingenieros, de inmediato se encontrarán algunas diferencias importantes, puesto que las pruebas más simples demuestran que los polímeros:

- Tienen resistencia mecánica y rigidez bajas;
- Su uso frecuentemente está limitado por condiciones de temperatura;
- Las pruebas mecánicas, por ejemplo, la de tracción, muestran que se deforman cuando se someten por un tiempo, y ésta es su característica mecánica más significativa.

Las características listadas antes representan desventajas en comparación con los metales, la madera, los materiales cerámicos, etc. Obviamente, los polímeros también deben de poseer ventajas, ya que son muy utilizados e, incluso, substituyen a los materiales comunes en muchas áreas importantes.

Las ventajas que tienen estos raros materiales son:

- Los materiales poliméricos, tanto los plásticos como los cauchos, se moldean fácilmente, lo cual permite la obtención de formas complejas con un mínimo de operaciones de fabricación y acabado.
- Su baja densidad da como resultado productos ligeros.
- Son resistentes a la corrosión y a los ataques químicos.
- Por lo común son aislantes eléctricos y térmicos.
- La flexibilidad natural de los polímeros los hace útiles.

- Aunque los valores de la resistencia mecánica absoluta y del módulo de elasticidad de los polímeros son bajos, los valores específicos por unidad de peso o volumen, son con frecuencia favorables. De aquí el uso de los materiales poliméricos que se utilizan especialmente en proyectos aeroespaciales.

Al principio las propiedades especiales de los plásticos y los cauchos eran mal interpretados y muchas de las fallas eran porque los ingenieros de diseño no conocían la importancia (y muchas veces ni siquiera sabían de la existencia) de la variación de éstas propiedades con el tiempo. En la actualidad, dichas propiedades están bien determinadas y se aplican en diseños de componentes para tener un buen comportamiento y una larga vida de servicio. Además en los años recientes se han obtenido muchos polímeros nuevos de alta eficiencia, los cuales superan a las deficiencias de los polímeros. Estos son los polímeros de ingeniería, los cuales tienen propiedades físicas superiores y mejor tolerancia a la temperatura. Así, la fácil moldeabilidad y sus cualidades aislantes y de resistencia a la corrosión hacen a los polímeros sumamente utilizables.

El cuarto capítulo es la parte del trabajo donde se definen los conceptos más importantes en lo que a molinera se refiere, así como los diferentes métodos existentes para triturar plásticos que las grandes compañías usan y también se van desglosando todas y cada una de las partes que componen a un molino de plásticos.

Como podemos darnos cuenta, una de las partes principales de la máquina, son las cuchillas y el rotor, ya que de eso depende el acabado del material a la salida de la máquina. Se han hecho muchas pruebas de laboratorio, y se ha comprobado que dependiendo de las piezas que se van a moler, de la dureza de los plásticos, el tamaño de las piezas y otros factores, son de suma importancia, va a depender que diseño del rotor va a ser el adecuado, que número de cuchillas se van a utilizar, así como del ángulo de corte que llevarán las cuchillas, por lo que una selección de una máquina debe de llevar un gran estudio previo.

En el quinto capítulo se menciona lo referente al diseño conceptual del proyecto, el cual comienza por el planteamiento de la necesidad, y como se menciona más adelante, surge porque en el laboratorio se tiene una inyectora de plásticos, y se desperdicia mucho material que sobra cuando se inyecta, por lo que fue que se decidió llevar a cabo la realización del molino. Posteriormente siguen las especificaciones de diseño, caja negra, procesos técnicos,

sistemas funcionales, conceptos, arreglo, para acabar con la conclusión de la maquina. Todos estos pasos, son detallados mas adelante y utilizados directamente para la realización del molino o trituradora.

El sexto capítulo tiene lo concerniente al diseño de detalle, que es donde se abarca y se estudian todas las posibilidades que se muestran en los sistemas funcionales, para así ir determinado cuales son las opciones que funcionarán adecuadamente y de esta manera escoger la mejor opción de todos y cada uno de los mecanismos involucrados en nuestro sistema.

### Epígrafe

El planeta en el que vivimos es nuestra casa y debemos de cuidarla, para el futuro de nuestros hijos.

Gabriel Alvarez Ramos.



# **CAPITULO 1**

## **IMPORTANCIA DEL RECICLAJE**

La mayoría de los plásticos sintéticos no pueden ser degradados por el entorno. Al contrario que la madera, el papel, las fibras naturales o incluso el metal y el vidrio, ya que no se oxidan ni se descomponen con el tiempo. Actualmente han desarrollado algunos plásticos degradables, pero ninguno ha demostrado ser válido para las condiciones requeridas en la mayoría de los vertederos de basuras. En definitiva, la eliminación de los plásticos representa un problema para el medio ambiente. Un método práctico para afrontar este problema es el reciclaje, que se utiliza, por ejemplo, con las botellas de bebidas gaseosas fabricadas con tereftalato de polietileno (PET). En este caso, el reciclaje es un proceso bastante sencillo. Se están desarrollando soluciones más complejas para el tratamiento de los plásticos mezclados de la basura, que constituyen una parte muy visible, si bien relativamente pequeña, de los residuos sólidos.<sup>1</sup>

Existen dos soluciones generales para cuando un producto se convierte en residuo:

- a) tirarlo a un vertedero,
- b) recuperarlo.

Los plásticos no se degradan en el medio ambiente como la basura ecológica (exceptuando el caso de los plásticos biodegradables), y la primera opción no parece ecológicamente muy aceptable, ni siquiera para la imagen del producto; en cambio, la recuperación sí.

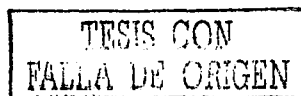
Se trata de un amplio concepto que engloba en sí a otros dos:

- a) reutilización,
- b) reciclaje.

El que más interés acapara es sin lugar a dudas el primero de ellos, tanto ecológica como económicamente, debido a que requiere mínimos recursos y el menor desgaste del valor del producto. Sin embargo, la normativa legal, la salubridad y la degradación del producto no siempre posibilitan recurrir a la reutilización, con lo cual la única alternativa posible para ésta

---

<sup>1</sup>"Plásticos", *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 99*. © 1993-1998 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.





serie de supuestos es la del reciclaje, que, en cualquier caso, nunca será el último fin, sino una vía para alcanzar otra serie de objetivos.

Si lo que se pretende es disminuir la cantidad de residuos y el consumo de materias primas, el reciclaje siempre resultará rentable; si se persigue reducir el consumo energético, la energía necesaria para el reciclaje deberá ser inferior a la que se requiera para fabricar la materia prima.

En el reciclaje se pueden distinguir cuatro niveles:

1. Se denomina **reciclaje primario** a la trituración de los residuos plásticos procedentes del proceso de fabricación de un producto, posterior **mezcla con plásticos vírgenes** y su utilización a modo de materia prima (reciclaje mecánico). Se trata de un proceso barato y rentable, dado que el residuo es homogéneo y se encuentra poco contaminado.
2. En el reciclaje **secundario**; sin embargo, el residuo plástico procede de una pieza ya utilizada, con lo cual el material es más heterogéneo y contaminado. Hay que separar, triturar, limpiar y convertir los plásticos en materia prima (reciclaje mecánico). Dada la degradación del plástico, para que la calidad del material reciclado sea aceptable se han de agregar **aditivos especiales y caros**; motivo por el cual en la mayoría de los casos se recurre a este tipo de reciclaje más complejo y costoso cuando se cuenta con alguna subvención pública. Si bien durante los últimos años se ha avanzado mucho en la tecnología de separación de plásticos, en ocasiones resulta insuficiente.
3. En el reciclaje **terciario** o químico (pirólisis, glicólisis, alcoholisis e hidrólisis) las cadenas moleculares se reducen hasta **obtener los monómeros iniciales o productos intermedios de bajo peso molecular** que pueden servir de materia prima para la polimerización. Según un estudio realizado por Association of Plastic Manufacturers of Europe, APME (Asociación Europea de fabricantes de plástico), en 1995 un total de 99.000 toneladas de residuos plásticos fueron recicladas mediante esta tecnología, cifra que en los años venideros irá en aumento, puesto que cuando no es posible el reciclaje mecánico, el químico resulta una buena opción, aunque, hoy por hoy, resulta demasiado costosa.

4. En el reciclaje cuaternario o recuperación de la energía, el residuo plástico se emplea como combustible. Dado que los plásticos son materiales provenientes del petróleo, su valor energético es similar al de este último. El PP, por ejemplo, tiene 46 MJ/kg, mientras que la leña tiene 16 MJ/kg. La energía de los residuos orgánicos no llega sino al 10% de la que contienen los plásticos. Otro ejemplo: la energía proveniente de un envase de yogur de 0,3 litros es capaz de mantener encendida una bombilla de 40W por espacio de una hora. Decir asimismo que un estudio de APME efectuado en unos hornos de cemento de Suiza demuestra que por cada tonelada de residuos plásticos empleado como combustible se ahorran 1,4 toneladas de carbón, lo cual supondría 3,8 millones de toneladas de carbón menos al año en Europa, reduciéndose al mismo tiempo las emisiones. Así pues, la recuperación de la energía de los plásticos reduce la cantidad de material depositado en los vertederos y contribuye a la conservación de los combustibles clásicos.

## 1.1 LOS PLÁSTICOS Y EL MEDIO AMBIENTE

La conservación del medio ambiente ocupa un destacado lugar entre las inquietudes de la sociedad actual. Durante los últimos años, los criterios a los que el consumidor se atiene a la hora de realizar una compra, tales como el precio, la utilidad o la marca, se han visto acompañados por el que aboga por un producto "ecológico", calificándose de tal forma el impacto que causa en el medio ambiente una vez llegado a considerarse residuo. No obstante, el estudio aislado de este último aspecto ofrecería una visión limitada, por lo cual se deben estudiar asimismo las fuentes de las materias primas empleadas (canteras, bosques, petróleo, manantiales, etc.), los medios utilizados en la fabricación del producto (energía, cantidad de material, etc.), eficacia de su uso (expectativa de vida, peso, etc.). Y por último, el tratamiento que recibe una vez finalizada su vida útil (reutilización, reciclaje, etc.).

El impacto nocivo que producen los plásticos en el medioambiente es menor que el ocasionado por otros materiales tradicionales, su fabricación requiere menos recursos que otros casos, su ligereza y resistencia medioambiental aportan claras ventajas a su eficacia (transporte, embalaje, etc.) y además, los plásticos se pueden reciclar.

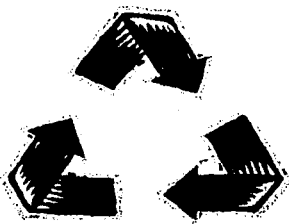
Cuando pensamos en el ahorro de recursos frecuentemente pensamos en la basura, pero es importante recordar al optimizar recursos que el impacto ambiental no comienza con la disposición final. Todo Proceso tiene un impacto, desde el momento en que las materias primas son extraídas para producir un nuevo producto hasta el momento en el que el producto termina su vida útil. Es por eso que existe una nomenclatura que se usa en los productos fabricados con plástico, para que una vez que termina su vida útil, sea posible la identificación del plástico o plásticos que lo conforman.

### **Simbolos de reciclaje**

Los símbolos de reciclaje vienen en varios estilos pero generalmente son unas flechas que forman un triángulo, indicando que el producto ha sido o puede ser reciclado. Los símbolos de reciclaje generalmente se encuentran en recipientes de plástico. Sin embargo, productos como tarros de vidrio y latas de aluminio generalmente no tienen el símbolo de reciclaje, aunque sí son reciclables.

El número dentro del símbolo de reciclaje, que va del 1 al 7, indica el tipo de plástico del que está hecho el recipiente y en algunos casos también se incluyen las siglas del plástico. Este símbolo generalmente se encuentra en la parte inferior de los recipientes de plástico.

La figura 1.1 muestra el símbolo que se usa para identificar si un material es o ya fue reciclado. Si es el caso de que ya fuese reciclado, además, se indica el porcentaje de material reciclado que se uso durante el proceso.



**Fig. 1.1**  
**"Símbolo del reciclaje"**

**Numeración que se encuentra dentro del símbolo de reciclaje en los productos de plástico:**

**1**

Tereftalato de Polietileno (PET)

Vemos el símbolo en los envases de refrescos.

**2**

Polietileno de Alta Densidad (PEHD)

Lo encontramos en los envases de leche, agua de manantial, detergentes, suavizadores de ropa, shampoo y otros.

**3**

Cloruro de Polivinilo (PVC)

Los limpiadores de cristales se presentan en envases de este tipo.

**4**

Polietileno de Baja Densidad (PELD)

Lo encontramos en pequeños envases de medicinas para los ojos y alergias nasales.

**5**

Polipropileno (PP)

Lo vemos en las tapas de los envases plásticos.

**6**

Poliestireno (PS)

Esta en los envases de los desodorantes.

**7**

Plásticos Mezclados

Indica que encontramos todo tipo de plásticos mezclados.

## **Eficiencia máxima, uso mínimo de recursos naturales**

**\*\*En el inicio de su ciclo, los plásticos usan menos recursos naturales que los que mucha gente piensa. La producción de plásticos utiliza menos del 4% del aceite comercial que es producido.**

La conversión de polímeros en productos también es energéticamente eficiente y el que los plásticos sean ligeros significa que cualquiera que sea la aplicación, desde empaque y embalaje hasta partes de automóvil, los plásticos, ahorran recursos durante su uso y transportación. Esto ahorra combustible y, además, reduce emisiones.

Esto resulta obvio si tomamos en cuenta hechos tan cotidianos como una botella de agua: la entrega de agua en botellas de plástico reduce el consumo de combustible hasta en un 39 por ciento durante su proceso de transportación.

## **Balance entre las necesidades ambientales y los avances tecnológicos**

En cada aspecto de nuestras vidas, los plásticos juegan un rol vital en el desarrollo de nueva tecnología, incrementando la calidad de vida y asegurando que el uso de recursos naturales sea eficiente. El uso eficiente de recursos es algo que a todos nos concierne, principalmente por aspectos ambientales, económicos y sociales. Estos tres objetivos no tienen por que estar diametralmente opuestos; de hecho, es posible que vayan de la mano.

Para lograr este balance, es necesario considerar el concepto de Desarrollo Sustentable:

### **1.2 DESARROLLO SUSTENTABLE**

En los años anteriores a la década de los 70', se percibía a los recursos naturales como algo abundante que debía ser explotado de la manera más barata posible y en cantidades que no consideraban los límites de los recursos. No se pensaba en las cantidades de minerales utilizados o de bosques talados o en la capacidad del aire, tierra y agua para absorber contaminantes. Se veía al desarrollo como un sinónimo del crecimiento económico.

Esta visión de los recursos cambió con la crisis del petróleo que se presentó en el año de 1973, y que dejó como saldo el sentimiento generalizado de que el mundo se enfrentaba a un futuro de recursos más costosos y escasos. Este sentimiento permaneció durante toda la década de los 70' y parte de los 80' y llevó a que las cuestiones relativas a los recursos se convirtieran en una preocupación de carácter político y económico. Todo esto se basaba en una falsa premisa: que los recursos (especialmente los minerales) estaban a punto de agotarse. Cuando en la década de los 80' se encontró que si bien los recursos no renovables tenían un límite, éste aún estaba muy lejano y no había razón de temer que se agotaran de un momento a otro. Fue entonces cuando surgió una preocupación generalizada sobre el medio ambiente, el desarrollo económico y la calidad de vida adquiriendo la visión de un nuevo mundo que enfrentaba las necesidades de la comunidad sin minar la integridad del medio ambiente; es decir, un mundo con Desarrollo Sustentable. La idea de Desarrollo Sustentable fue utilizada por primera vez en la World Conservation Strategy (Estrategia de Conservación Mundial), en la que se expresaba la sustentabilidad en términos ecológicos dejando a un lado el desarrollo económico por lo que su posición fue calificada de antidesarrollo. Esta deficiente visión de la relación entre medio ambiente y economía llevó a la reformulación del concepto de Desarrollo Sustentable con el fin de reflejar la importancia de esta relación. Esta reformulación llevó a la creación de la World Commission on Environment and Development (Comisión en Ambiente y Desarrollo), la Comisión inició estudios que culminaron con la publicación de Our Common Future (Nuestro Futuro Común) en 1987, un reporte el cual define Desarrollo Sustentable como: "Desarrollo que cumple con las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para cumplir con sus propias necesidades". En esencia, es un llamado a tomar políticas que reconozcan la necesidad de un crecimiento económico, y busque maximizar este crecimiento, pero de una forma que no ponga en peligro la posición de las personas vulnerables y sin reducir la viabilidad futura de los recursos base. Es un llamado para una actitud diferente frente al desarrollo económico; una actitud en la que sea más importante la calidad del crecimiento que la cantidad de crecimiento. Es por ello que el Desarrollo Sustentable puede alcanzarse únicamente si se logra reconciliar tres aspectos: el económico, el ambiental y el social. La Sustentabilidad en términos económicos significa una administración eficiente de los recursos más escasos a la vez que se hace prosperar a la industria y a la economía. Sustentabilidad en un sentido ambiental significa no colocar una carga intolerable en la ecósfera y el mantener las bases naturales para la vida. Desde un punto de vista social, la Sustentabilidad significa que los seres humanos son la principal preocupación, en vista de que,

particularmente, el incremento de la población mundial requiere que se proporcionan oportunidades iguales, libertad, justicia social y seguridad.

Existen algunos conceptos clave dentro de las políticas de Desarrollo Sustentable:

- a) Las necesidades básicas de todas las personas deben enfrentarse de una manera les permita satisfacer dichas necesidades de una forma digna y segura. En el mundo de hoy, en donde las necesidades de tantos no son satisfechas, es inevitable dar prioridad a las necesidades de los pobres; esto no es únicamente deseable desde un punto de vista moral o de equidad social, sino que es algo bueno para el desarrollo.
- b) No existen límites absolutos para el desarrollo, el potencial de desarrollo es una función del estado presente de la tecnología y organización social, combinada con su impacto en los recursos ambientales.
- c) Es necesario dar su valor real al medio ambiente. En el pasado, el medio ambiente ha sido abusado debido a que su verdadero valor no ha sido comprendido. El desarrollo no será posible hasta que no se pague el justo precio a cambio del beneficio recibido.
- d) Se requiere de una visión futurista que permita percibir los alcances del desarrollo, de tal manera que las políticas contemplan el efecto de las acciones a corto, mediano y largo plazo.

Hoy en día, el Desarrollo Sustentable se ha convertido en un concepto básico para la Industria en general, particularmente en la Industria Química en la que, mediante iniciativas voluntarias como "Responsabilidad Integral", se busca un crecimiento en el que no se ponga en peligro el medio ambiente o la comunidad y que promueve prácticas responsables que permitan conservar los recursos económicos, sociales y ambientales.

La producción de plástico contribuye a la creación de empleos y genera utilidades, con lo que se apoya al desarrollo económico y social; si a esto se le suma que, además, consume muy poco material en cada aplicación y es más barato y limpio su transporte, se puede apreciar fácilmente la manera en que la Industria del plástico impulsa el desarrollo económico y social

mientras protege al medio ambiente, es decir, contribuye al Desarrollo Sustentable de los países.

El consumo de polímeros o plásticos ha aumentado considerablemente en los últimos años. Estos petroquímicos han sustituido parcial y a veces totalmente a muchos materiales naturales como la madera, el algodón, el papel, la lana, la piel, el acero y el concreto. Los factores que han favorecido el mercado de los plásticos son los precios de muchos materiales plásticos que son competitivos y a veces inferiores a los de los productos naturales, y el hecho de que el petróleo ofrece una mayor disponibilidad de materiales sintéticos que otras fuentes naturales.

Este aumento en el consumo de los plásticos lo comprobamos al observar que en 1974 se consumían 11 kilogramos por individuo, pero se calcula que para el 2005 el consumo mundial será de 42.5 kilogramos per. cápita.

La crisis petrolera de 1974 también influyó en el aumento del consumo de los plásticos, sobre todo en la industria automotriz. Al aumentar los precios del petróleo, los países desarrollados se vieron obligados a buscar nuevas alternativas para ahorrar energéticos. Los plásticos ofrecieron una buena opción para lograr la meta, pues permitían disminuir el peso de los vehículos lo cual repercutía en un ahorro en el consumo de combustible por kilómetro recorrido.

En 1979 los automóviles se construían usando un promedio de 4.5% de materiales plásticos, o sea, alrededor de 80 kilogramos / automóvil. En el 2001 este porcentaje subió hasta 10% del peso total o sean 125-150 kilogramos / automóvil.

Entre los polímeros usados para reducir el peso de los automóviles se encuentran los poliésteres, polipropileno, cloruro de polivinilo, poliuretanos, polietileno, nylon y ABS (acrilonitrilobutadienoestireno).

Sin embargo, el mercado más grande de los plásticos es el de los empaques y embalajes, siendo el polietileno el que ocupa el 43% en este campo. Lo anterior provoca un problema que no podemos ignorar: la contaminación por desperdicios no biodegradables. En México el 4% de los desperdicios sólidos en los basureros municipales son los plásticos. Este porcentaje parece muy pequeño aparentemente, pero si tomamos en cuenta que la cantidad de basura



asciende a varios cientos de miles de toneladas, entonces comprobamos la dimensión del problema.

Existen varias tecnologías que se están aplicando y otras que se están desarrollando en esta dirección. A continuación mencionaremos algunas de ellas.

En Estados Unidos la compañía Western Electric (Occidental Eléctrico), emplea un proceso que consiste en reciclar el plástico de los basureros por remoldeo, ya que el 80% de estos polímeros son termoplásticos.

Otra alternativa para resolver el problema de los plásticos de desperdicio es procesarlos y convertirlos en productos químicos valiosos por medio de un proceso de desintegración. El producto recuperado depende de la naturaleza del plástico usado y de la temperatura aplicada. En un experimento en el cual se usó el polietileno y se rompieron las cadenas poliméricas a 740°C, los principales productos fueron metano 16.2%, etileno 25%, benceno, tolueno, xilenos 29% y ceras polietilénicas 7%. Cuando se desintegra el poliestireno a la misma temperatura se recupera el 71,6% del estireno.

Una tercera alternativa es la de producir plásticos que sean fotodegradables, o sea, que se degraden con la luz, para evitar tener que recuperarlos. Sin embargo, el problema ecológico provocado por la industria de los plásticos es demasiado grande como para considerar que ya esté resuelto.

### 1.3 MITOS Y REALIDADES SOBRE LOS PLASTICOS

#### ¿Es el plástico biodegradable?

Los plásticos no son biodegradables, un material biodegradable es aquel que puede ser transformado en estructuras más sencillas por la acción de bacterias y otros microorganismos en un lapso relativamente corto de tiempo. Los plásticos están constituidos por cadenas extremadamente largas, por lo que su descomposición, aunque sí es posible, requiere de un período tan largo de tiempo que se considera que no es biodegradable. Sin embargo, esto lejos de ser un inconveniente resulta ser una ventaja, ya que esta característica le confiere

durabilidad a los materiales de plástico, por lo que pueden ser utilizados en más de una ocasión o por largo tiempo.

Por otra parte, se ha visto que la biodegradabilidad no es la solución óptima para el manejo de los residuos sólidos municipales ya que en los rellenos sanitarios no se tienen las condiciones necesarias para que ésta se lleve a cabo al carecer de aire y luz, dos factores indispensables para la biodegradación; por lo que aún materiales de los considerados biodegradables pueden durar varios años antes de descomponerse.

En cuanto a la disposición final de plásticos, hoy en día contamos con varias opciones para ello, como es el reciclaje y el uso de residuos plásticos como combustible alternativo que son dos opciones que permiten recuperar recursos a partir de los residuos en lugar de simplemente enterrarlos y esperar a que se degraden.

**¿Los envases y empaques de plástico tienen mayor impacto ambiental que los que están hechos con otros materiales?**

No, en realidad el uso de envases y empaques de plástico puede ayudar a reducir la contaminación en más de una forma. Por ejemplo, si se utilizan garrafones de plástico para el transporte de agua se consume alrededor de un 39% menos combustible que si se transporta la misma cantidad de agua en garrafones hechos de otro material.

Para la reducción de la contaminación es indispensable la optimización del uso de los recursos y la reutilización de los mismos. Para ello, los envases y empaques de plástico han sufrido varias modificaciones a lo largo de los últimos años. Estas modificaciones han dado como resultado que los envases y empaques de plástico sean actualmente un 80% más ligeros de lo que eran hace 20 años.

Un estudio efectuado en Alemania muestra que si no se utilizaran los envases y empaques de plástico, el consumo en peso de envase y empaque aumentaría en un 291%, el consumo energético en la elaboración de empaque y envase se incrementaría en un 108% y el volumen de desechos para disposición final aumentaría en un 158%. (Fuente: Gesellschaft für

Verpackungsmarktforschung "Compañía para el paquete mercado investigación", 1991, Alemania).

### ¿Los plásticos son reciclables?

Los plásticos pueden ser y son reciclados. Existen gran cantidad de nuevas aplicaciones a partir de resina reciclada como son:

- Madera plástica
- Ropa
- Muebles
- Recubrimiento asfáltico

Actualmente se cuenta con tecnología que permite separar y aprovechar los residuos plásticos de manera óptima y eficiente, con lo que se han generado nuevos mercados y se ha reducido de manera importante la cantidad de residuos plásticos que llegan a disposición final<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> [www.cyan.com](http://www.cyan.com)

# **CAPITULO 2**

## **USOS Y CARACTERISTICAS DE LOS TERMOPLASTICOS.**

En este capítulo mencionaremos los polímeros o resinas sintéticas que se derivan de los petroquímicos básicos como el metano, etileno, propileno, butilenos, benceno, tolueno y xilenos.

Puede decirse justificadamente que los polímeros, debido a que muchos son sintéticos, son importantes por sus usos, quizá más que los materiales más conocidos, como los metales y la madera, los cuales existirían aún si no hubiese actividades humanas. La mayoría de los polímeros se crearon debido a la demanda de productos con propiedades nuevas y mejoradas. Los métodos para obtener nuevos polímeros y mezclas, así como la investigación sobre sus estructuras y propiedades originan temas de estudio muy interesantes, pero el uso de estos materiales en productos comerciales constituye la fuerza motriz de estos avances.

En años recientes han aparecido algunos libros excelentes relacionados con la química, estructura, propiedades y aspectos de ingeniería de los polímeros. La transformación de los polímeros como productos de la industria química para generar artículos de consumo común y piezas de uso en la ingeniería, ha recibido menos atención. Hay textos valiosos acerca de procesos individuales de fabricación, principalmente el moldeo por extrusión y por inyección de termoplásticos, pero otros métodos, no han sido tan estudiados. Es más importante la morfología de los polímeros y su influencia sobre su comportamiento físico. Este tiene sus raíces, desde luego, en la química en la cual se apoya, de manera que en este punto es necesario cierto grado de comprensión de los aspectos químicos.

## 2.1 EL MATERIAL PLASTICO Y SU HISTORIA

El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860 en los Estados Unidos, cuando se ofrecieron 10.000 dólares a quien produjera un sustituto del marfil, (cuyas reservas se agotaban), para la fabricación de bolas de billar. Ganó el premio John Hyatt, quien inventó un tipo de plástico al que llamó celuloide. El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, amazones de lentes y película cinematográfica. Sin el celuloide no se hubiera podido iniciar la industria cinematográfica a fines del siglo XIX. El celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.

En 1907 Leo Baekeland inventó la baquelita, el primer plástico calificado como termo fijo o termoestable plásticos que puede ser fundidos y moldeados mientras están calientes, pero que no pueden ser ablandados por el calor y moldeados de nuevo una vez que han fraguado. La baquelita es aislante y resistente al agua, a los ácidos y al calor moderado. Debido a estas características se extendió rápidamente a numerosos objetos de uso doméstico y componentes eléctricos de uso general.

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década de los 30', químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el polipropileno (PP).

Al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo. Al agregarles diversos aditivos se logra un material mas blando, sustitutivo del caucho, comúnmente usado para ropa impermeable, manteles, cortinas y juguetes. Un plástico parecido al PVC es el politetrafluoretileno (PTFE), conocido popularmente como teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes.

Otro de los plásticos desarrollados en los años 30' en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos, popotes y envases para huevos. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico.

También en los años 30' se crea la primera fibra artificial llamada nylon. Su descubridor fue el químico Wallace Carothers, que trabajaba para la empresa DuPont. Descubrió que dos sustancias químicas como el hexametilendiamina y ácido adípico podían formar un polímero que bombeado a través de agujeros y estirándolo formaba hilos que podían tejerse. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán.

En la presente década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases.

## 2.2 ESTRUCTURAS BASICAS DE LOS POLIMEROS

### Esquemas de clasificación

El estudio de cualquier materia tan vasta y compleja como lo es la de los polímeros, podría visualizarse clasificando en categorías los varios miles de ejemplos que se conocen, acerca de los cuales se pueden hacer generalizaciones. Al hablar acerca de los polímeros como un tópico especial, se están estableciendo ya categorías de bajo peso molecular o de alto peso molecular, es decir, polímeros. Sin embargo, algunas clasificaciones de mayor utilidad, se deben a:

1. **Estructura.** Nos podemos preguntar si el polímero consiste de una masa separable de moléculas individuales o de una red macroscópica. También, si es ramificado o lineal, si es una sucesión de unidades orientadas al azar, o si tiene una orientación espacial preferente.
2. **Estado físico.** Las moléculas de los polímeros pueden ser parcialmente cristalinas o estar en completo desorden. Este último puede ser de naturaleza vítrea y quebradiza, o puede estar fundido con las características de viscosidad de un líquido o con la elasticidad que se asocia con un sólido semejante al hule. Veremos que las diferencias dependen de la temperatura, del peso molecular y de la estructura química.
3. **Reacción al medio ambiente.** Dentro de una industria o dentro de alguna otra agrupación, puede haber una diferencia importante en el procesado o comportamiento en el uso final. En cualquier aplicación se pueden diferenciar entre los materiales de bajo costo, los de uso general y los especializados de alto costo. Para los Ingenieros es ésta una categorización lógica, como primer paso para especificar un material para un uso dado. En la industria de los plásticos, el comportamiento a alta temperatura constituye un factor importante en el uso económico y en la estabilidad del uso final de un producto. El término termoplástico se aplica a aquellos materiales que se ablandan y fluyen por la aplicación de

calor y presión. Así, la mayoría de los materiales termoplásticos pueden remodelarse muchas veces, aunque la degradación química llegara a limitar el número de los ciclos de moldeo, la ventaja obvia consiste en que una pieza que se rechazó o se rompió después de moldearse, se puede moler y volver a moldear. La desventaja es que hay una temperatura límite para el material, arriba de la cuál estos materiales no pueden usarse para elementos estructurales. La temperatura de deflexión, anteriormente denominada temperatura de *distorsión por el calor*, se mide con una carga estándar a una rapidez estándar de aumento de temperatura.

4. **La química.** También se pueden usar la composición elemental de un polímero, los grupos funcionales presentes (éter, éster, oxidrilo, etc.), o el método de síntesis (propagación de cadenas, transesterificación, abertura de anillos, etc.), como medios para clasificar los polímeros, la persona o empresa que intente explotar una materia prima o un proceso especial, podría utilizar con provecho tal punto de vista.
5. **Uso final.** Como ya se mencionó, las diferentes industrias que consumen polímeros tienen la tendencia de considerar un material nuevo: como un adhesivo, una fibra, un hule, un plástico o un recubrimiento, aún cuando ese material pueda adaptarse a todas esas aplicaciones.

## 2.2 PROPIEDADES Y APLICACIONES DE ALGUNOS TERMOPLASTICOS.

### ¿Qué son los termoplásticos?

Los termoplásticos son polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se reblandecen y pueden moldearse a presión. Representan el 78-80% de consumo total de los plásticos. La extensa gama de materiales termoplásticos actualmente en el mercado con características especiales como son: gran resistencia al impacto, estabilidad a los rayos U.V., baja inflamabilidad, alta resistencia a la abrasión, etc., nos permite seleccionar el más idóneo para cada tipo de aplicación ó proyecto.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **POLIPROPILENO (PP)**

El polipropileno se produce desde hace más de treinta años, pero su aplicación como un excelente termoplástico data de los últimos diez años. Este retraso se debió a la falta de una producción directa del propileno; pues éste siempre fue un subproducto de las refinerías o de las operaciones de desintegración del etano o de cargas más pesadas en la fabricación de etileno. Otro factor que influyó en el retraso del desarrollo del polipropileno fue la falta de un catalizador para producir un polímero estéreo regular.

Como el polipropileno tiene un grupo metilo ( $\text{CH}_3$ ) más que el etileno en su molécula, cuando se polimeriza, las cadenas formadas dependiendo de la posición del grupo metilo puede tomar cualquiera de las tres estructuras siguientes:

1. **Isotáctico**, cuando los grupos metilo unidos a la cadena están en un mismo lado del plano.
2. **Sindiotáctico**, cuando los metilos están distribuidos en forma alternada en la cadena,
3. **Atáctico**, cuando los metilos se distribuyen al azar.

El punto decisivo para la producción industrial del polipropileno fue el descubrimiento de Natta; desarrolló un catalizador tipo Ziegler que produce polímeros predominantemente isotácticos. Debido a su elevada estéreo regularidad, este polímero posee una alta cristalinidad, por lo que sus cadenas quedan bien empaçadas y producen resinas de alta calidad.

### **Propiedades y usos del polipropileno**

Las propiedades del polipropileno comercial varían de acuerdo al porcentaje de polímero isotáctico cristalino y del grado de polimerización. El polipropileno cristalino tiene un punto de fusión de  $170^\circ \text{C}$ , por lo que se usa para elaborar bolsas que se pueden meter al horno, permitiendo cocinar los alimentos sin que pierdan sus jugos. Los artículos hechos con polipropileno tienen una buena resistencia térmica y eléctrica además de baja absorción de humedad.

Otras propiedades importantes del polipropileno son su dureza, alta resistencia a la abrasión y al impacto, excelente transparencia, y que no es tóxico.

El moldeo por inyección consume el 40% de la producción. Los artículos fabricados con esta técnica pueden ser partes de aparatos eléctricos, juguetes, maletas, tapas de botellas, jeringas, etc. Debido a su ligereza y dureza, el polipropileno se usa mucho en la industria automotriz. Se emplea en la fabricación de adornos interiores, revestimiento de los guardafangos, bastidores de aire acondicionado y de calefacción, ductos y en las cajas de los acumuladores.

El 30-35% del polipropileno se usa en la industria textil. Estas fibras de bajo costo y excelentes propiedades compiten con el yute y el henequén, y sirven para tapicería, ropa interior y ropa deportiva, alfombras, y cables para uso marítimo.

En el mercado de las películas, este polímero compite con el celofán y se utiliza principalmente en envolturas de cigarrillos, galletas, etc. En México, el 45% del polipropileno se usó en 1983 para la fabricación de cintas (slit-tape) que sirven para hacer costales para el azúcar, fertilizantes harina, etc.

Las mejoras, en el campo del polipropileno incluyen el nuevo material hecho por copolimerización del etilenopropileno.

Se dice que este copolímero constituye el puente entre el verdadero plástico y el verdadero elastómero, o sea, un elastómero termoplástico. Este producto fue desarrollado por la DuPont, posee propiedades semejantes al hule y puede procesarse como cualquier termoplástico. Algunos productos fabricados con este material sirven para hacer selladores, partes automotrices y suelas de zapatos.

## **POLIETILENO (PE)**

Este es el termoplástico más usado en nuestra sociedad. Los productos hechos de polietileno van desde materiales de construcción y aislantes eléctricos hasta material de empaque. Se

trata de un plástico barato que puede moldearse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas.

Según la tecnología que se emplee se pueden obtener dos tipos de polietileno: el de baja densidad y el de alta densidad.

El polietileno es el polímero de mayor importancia comercial y esto puede atribuirse a:

- Su bajo costo, por lo barato de la materia prima y el alto nivel de producción.
- Su baja polaridad, que le hace tener excelentes propiedades eléctricas.
- La facilidad de su procesamiento por técnicas muy variadas.
- Sus aceptables propiedades mecánicas.
- Su baja absorción de humedad.

A estas cualidades, se añade su gran *versatilidad*, lo cual puede sorprender si se considera que es el polímero más sencillo y empero, debemos recordar que puede haber en él gran variabilidad estructural debido al número, distribución y clase de las ramificaciones de sus cadenas.

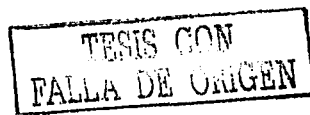
Así, se ha dicho que básicamente existen tres clases de polietilenos

- El de alta densidad.
- El de baja densidad.
- El lineal de baja densidad.

Los dos primeros son homopolímeros y el último es un copolímero del etileno con otros monómeros.

Desde luego, dentro de cada categoría, también hay diferencias en el peso molecular, lo que permite disponer de una suficiente variedad de polietilenos para sus distintas aplicaciones. A este respecto, las diferentes variedades se distinguen en la práctica por las siguientes propiedades:

- El porcentaje de cristalinidad.



- La densidad.
- La temperatura de reblandecimiento.
- El índice de fluidez.

El índice de fluidez es una prueba realizada para estudiar el comportamiento del flujo de los termoplásticos, haciéndolos pasar bajo una carga prescrita a través de una boquilla de dimensiones estandarizadas. La cantidad de polímero, en gramos, que emergen en un tiempo de 10 minutos a 190°C, se llama índice de fluidez.

El índice de fluidez depende inversamente del peso molecular y se correlaciona mejor con el peso molecular promedio másico que con el numérico. Un polietileno de peso molecular bajo o medio, tiene índice de fluidez alto; es decir, fluye sin dificultad al estar fundido, lo que facilita su procesamiento. Los ciclos de moldeo también se reducen. Sin embargo, el índice de fluidez no depende únicamente del peso molecular, sino también del número, clase y distribución de las ramificaciones.

Algunas propiedades que se relacionan con el índice de fluidez son:

- El porcentaje de elongación bajo tensión.
- La resistencia al impacto.
- El brillo de la superficie de las piezas.
- La temperatura de reblandecimiento,
- La temperatura de fragilidad.
- La contracción de las piezas y su distorsión.

En general, el material más dúctil resiste mejor los impactos, tiene mayor resistencia mecánica en caliente, mayor resistencia a la tensión, menor velocidad de deslizamiento y mayor resistencia al deterioro ambiental, si su índice de fluidez es bajo.

Los polietilenos con índice de fluidez alto se procesan con mayor facilidad y producen piezas con mayor brillo superficial. Por lo que respecta a la contracción de las piezas moldeadas, los polietilenos de alto índice de fluidez permiten menores temperaturas de operación, requieren en consecuencia menos enfriamiento y se contraen menos.

La distorsión de las piezas moldeadas se debe a que al solidificarse, hay un relajamiento y liberación de los esfuerzos a que el material fue sometido durante el moldeo, el enfriamiento no uniforme y la temperatura demasiado baja, exacerbando el problema. Por lo que respecta al material, es aconsejable usar polietilenos con alto índice de fluidez (entre 8 y 22) porque fluyen mejor a presiones bajas, y dado que tienen menor peso molecular, tienen menor *memoria elástica*.

El índice de fluidez depende de la velocidad de corte y, como las velocidades empleadas en el ensayo son mucho menores que las normalmente utilizadas en las condiciones de fabricación, los datos obtenidos no pueden siempre correlacionarse bien con el comportamiento del material en condiciones reales. De cualquier forma, el índice de fluidez es un parámetro muy útil sino se le atribuye demasiada exactitud al predecir características de procesamiento de una resina. Como guía general para el procesador y control de calidad para el fabricante de resinas, el índice de fluidez, constituye una ayuda importante.

#### **POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE).**

Cuando se polimeriza el etileno a baja presión y en presencia de catalizadores, Ziegler Natta, se obtiene el polietileno de alta densidad (HDPE).

La principal diferencia entre el LDPE y el HDPE es que el primero es más flexible debido a que la cadena polimérica tiene numerosas ramificaciones con dos o cuatro átomos de carbono, mientras que en el HDPE las cadenas que lo constituyen casi no tienen cadenas laterales lo que les permite estar más empaquetadas y por lo tanto el polímero es más rígido. El HDPE, debido a sus propiedades, se emplea para hacer recipientes moldeados por soplado, casi el 85% de las botellas moldeadas por soplado se hacen de HDPE.

Las tuberías fabricadas con este material son flexibles, fuertes y resistentes a la corrosión, por lo que se utilizan ante todo para transportar productos corrosivos y abrasivos. También se usan en la perforación y transporte de petróleo crudo.

El polietileno en fibras muy finas interconectadas entre sí y formando una red continua sirve para hacer cubiertas de libros y carpetas, tapices para muros, etiquetas, batas de laboratorio, mandiles, y forros de sacos para dormir.

El polietileno de alta densidad ( $0.94$  a  $0.97 \text{ g./cm}^3$ ) es un material de muy alta cristalinidad (85 a 95 %) y temperatura de fusión  $135^\circ\text{C}$ . De las tres propiedades mencionadas, la cristalinidad es fundamental, y las restantes, son consecuencia de ella. A su vez, la alta cristalinidad de este tipo de polietileno se debe a que sus cadenas tienen muy pocas ramificaciones, por lo que pueden acomodarse bien en la red cristalina, a lo cual contribuye también la flexibilidad de las cadenas.

La gran aceptación que este material ha tenido, se debe a sus buenas propiedades físicas, químicas y eléctricas, combinadas con su bajo costo en comparación con el de otras resinas. Además, como se funde con precisión a temperaturas moderadas, puede procesarse fácilmente por muchos métodos y formularse para que cumpla con los requerimientos exactos de aplicaciones específicas. Su resistencia a la oxidación, durante el procesamiento y a la acción de los rayos solares, durante el uso, puede incrementarse fácilmente empleando antioxidantes, absorbedores de luz ultravioleta y otros aditivos.

La resistencia tensil del polietileno no es tan alta como la de muchos otros plásticos, pero es una propiedad que rara vez limita su aplicación. Una de las grandes cualidades del polietileno de alta densidad es su tenacidad, que se mantiene hasta temperaturas muy bajas. La resistencia al deslizamiento (creep), es una propiedad que depende del grado de cristalinidad y del peso molecular. Los polietilenos de alta densidad y alto peso molecular sufren menor deslizamiento que los de baja densidad aunque sean también de alto peso molecular. Pero esto no significa que si se desea bajo deslizamiento debe elegirse el polietileno con la mayor densidad disponible. De hecho, los mejores en este sentido están entre  $0.945$  y  $0.950$  y peso molecular alto:  $M_w = 250\ 000$  a  $300\ 000$  con índice de fluidez de  $0.06$  a  $0.04$ , son los que se usan para hacer monofilamentos para cuerdas y tejidos, así como tubería de alta presión.

Los polietilenos de alta densidad tienen muy buena resistencia a los ácidos no-oxidantes, a los álcalis y a los disolventes en general. Sin embargo, para cada aplicación hay que hacer pruebas en las piezas terminadas para seleccionar la resina más adecuada. El ataque químico puede

producir fisuras, hinchamiento, fragilidad o pérdida de resistencia mecánica. En general, estos efectos son menores, en los polietilenos de alta densidad que en los de baja.

La permeabilidad a los gases, vapores y líquidos es menor en los polietilenos altamente cristalinos que en los otros. Otra propiedad importante es la resistencia al agrietamiento.

Existen dos casos:

- a) Agrietamiento provocado por atmósferas corrosivas, que exhiben las piezas de plástico en contacto prolongado con agentes tenso-activos (detergentes y humectantes) o con disolventes débiles, mientras están sujetas a esfuerzos mecánicos o tensiones internas que por sí solas serían insuficientes para producir fallas inmediatas. El agrietamiento se atribuye fundamentalmente a la extracción de las fracciones de bajo peso molecular, también hay una influencia del peso molecular promedio numérico. En una serie de polietilenos con la misma densidad, los de mayor peso molecular son los de mejor resistencia al agrietamiento. Se ha reportado que los polietilenos con densidades de 0.95 a 0.953 y con índices de fluidez de 4 a 8 tienen la mejor resistencia al agrietamiento. El agrietamiento probablemente comienza en las porciones amorfas que existen entre las regiones cristalinas. Esas zonas amorfas son más susceptibles al ataque químico, por su estructura menos compacta y las moléculas de bajo peso molecular van a ser extraídas, mientras las más grandes serán separadas por el agente químico y perderán cohesividad, lo que debilita al material y lo agrieta. La alta cristalinidad produce mayor resistencia al ataque de agentes químicos, pero la rigidez que conlleva acentúa el riesgo de agrietamiento. Por eso se prefieren polietilenos con densidades altas (0.95-0.953), pero no las más altas, y a veces se les mezcla con hules para bajar su rigidez.
- b) Agrietamiento térmico, que se presenta en algunos plásticos cuando se les mantiene bajo esfuerzos a temperaturas elevadas. Con frecuencia, la resistencia al agrietamiento térmico se mejora empleando resinas de menor densidad o reduciendo la rigidez por copolimerización. Indudablemente, al agrietamiento térmico también contribuye a la degradación o ruptura de moléculas por la acción del calor, la luz y el oxígeno atmosférico. Una desventaja de los polietilenos de alta densidad, es que las piezas moldeadas con ellos se contraen más que las hechas con polietilenos de menor densidad y la posibilidad de orientación residual también es mayor, lo cual puede

conducir a distorsiones de las piezas. Otra característica de los polietilenos de alta densidad que puede ser un inconveniente para algunas aplicaciones, es que no son transparentes debido a su alto grado de cristalinidad, ya que la elevada concentración de esferulitos origina dispersión de la luz. Como los polietilenos de alta densidad tienen que ser procesados a temperaturas más altas que los de baja densidad, por la elevada viscosidad del fundido, el riesgo de que la resina se degrade es considerablemente mayor y debe tenerse especial cuidado al formularla, usando los estabilizadores más potentes. Una desventaja más del polietileno de alta densidad, es que las variedades de bajo peso molecular tienden a ser frágiles.

#### **Propiedades y usos del polietileno de alta densidad:**

- La fabricación de recipientes de gran capacidad, como tinacos de 200 litros, En este caso, se usan resinas de muy alto peso molecular ( $M_n = 300\ 000$  a  $500\ 000$ ) que tienen excelentes propiedades de impacto, alta resistencia al agrietamiento y alta resistencia química.
- La fabricación de rodamientos, rodillos, bombas y válvulas para la industria química, sellos y empaques, engranes, chumaceras. Para estas aplicaciones que requieren excepcionales propiedades de impacto, resistencia química y resistencia al desgaste, se emplean polietilenos de ultra-alto peso molecular:  $M_n$  por lo menos de 3 millones. La densidad de ellos es de 0.93-0.94; estos materiales se moldean por compresión.
- La fabricación de películas para empaque con muy baja permeabilidad y menor absorción de grasas, así como la fabricación de películas para bolsas con alta resistencia al desgarre. Para estas aplicaciones, el peso molecular es más bajo, del orden de 1 00 000 a 150 000 y densidades de 0.94 a 0.965.

Como estos polietilenos son más tiesos que los de baja densidad, las bolsas y películas se parecen a las de papel en su textura.



## **POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LDPE).**

Dependiendo del catalizador, este polímero se fabrica de dos maneras: a alta presión o a baja presión.

En el primer caso se emplean los llamados iniciadores de radicales libres como catalizadores de polimerización del etileno, el producto obtenido es el polietileno de baja densidad ramificado, conocido como LDPE.

Cuando se polimeriza el etileno a baja presión se emplean catalizadores tipo Ziegler Natta y se usa el buteno-1 como comonomero. De esta forma es como se obtiene el propileno de baja densidad lineal (LDPE), que posee características muy particulares, entre las que se cuenta la de poder hacer películas más delgadas y resistentes. Son muy útiles en la fabricación de pañales desechables. Por ejemplo, ambos tipos de polímeros sirven para hacer películas, hojas, moldeo por inyección, papel, y recubrimientos de cables y alambres. Las películas de polietileno se utilizan en la fabricación de las bolsas y toda clase de envolturas usadas en el comercio. Empleando el moldeo por inyección se fabrican toda clase de juguetes y recipientes alimenticios. La alta proporción de películas de polietileno es explicada porque sustituye al papel para bolsas y envolturas, pues hay escasez en México y se debe importar gran cantidad de pulpa cada año a alto costo.

Este término incluye a los polietilenos ramificados con densidades de 0.91 a 0.93, grados de cristalinidad de 50 a 70 y temperaturas de fusión entre 100 y 110°C. Son ramificados porque se fabrican en condiciones muy drásticas: presiones de 1,500 a 3,000 atm. temperaturas de 200 a 250°C y peróxidos como iniciadores. Los peróxidos generan radicales libres que por su enorme reactividad producen las ramificaciones.

A pesar de que al ser comparados con las otras dos grandes clases de polietilenos, los de baja densidad son inferiores en algunas de sus propiedades, de todos modos superan al resto en ventas por un amplio margen y no sólo a los otros polietilenos, sino a los demás polímeros considerados individualmente.

## **Las aplicaciones mas importantes de los polietilenos de baja densidad son:**

El 55% se procesa en forma de películas principalmente para bolsas, y para usos agrícolas como el acolchado, cubiertas para invernaderos y túneles, así como para impermeabilizar canales y depósitos de agua.

Las películas también se emplean en muchos tipos de empaques para alimentos.

El 10 a 15% se ocupa para hacer una gran variedad de artículos moldeados.

El 15 a 20% se usa para aislar cables y alambres eléctricos.

El resto se extruye para laminarlo con papel, cartón, hojas metálicas o se co-extruye con otros plásticos. También se moldea por soplado para hacer botellas o se extruye para fabricar tuberías de varios tipos incluyendo la que se usa en el riego por goteo.

Entre las cualidades generales de los polietilenos de baja densidad destacan su precio y la facilidad de su procesamiento, así como su flexibilidad, su alta resistencia al impacto y particularmente, la retención de esas propiedades a temperaturas muy bajas, debido a que su temperatura de transición vítrea es de  $-120^{\circ}\text{C}$ .

Su baja polaridad le confiere excelentes propiedades eléctricas. Exceptuando estas importantes cualidades, el resto de sus propiedades sólo pueden calificarse de aceptables, de manera que la explicación de su enorme demanda se justifica porque se emplea para hacer artículos de baja permanencia o de plano desechables, con excepción del recubrimiento de los cables y alambres eléctricos, como se observa al examinar la lista de sus aplicaciones.

Lo que lo limita, aún en el caso de algunos desechables como jeringas y otros artículos que deben ser esterilizados, es su baja temperatura de deformación, por lo que se sustituye por los polietilenos de alta densidad y si todavía se requiere mayor resistencia térmica, por el polipropileno que funde a  $170-175^{\circ}\text{C}$ .

## **POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD**

Este material se fabrica copolimerizando etileno con otras olefinas. Tiene ramificaciones, por lo que es de baja densidad, pero las ramificaciones o grupos laterales son de tamaño uniforme y tiene grados de cristalinidad mayores que el polietileno normal de baja densidad. Su mayor cristalinidad, le imparte propiedades que lo hacen superior al polietileno de baja densidad con el mismo índice de fluidez. Esas propiedades son:

- Mayor resistencia al impacto.
- Mayor resistencia al desgarre.
- Mayor resistencia a la tensión.

Los procesadores de películas aprovechan estas cualidades para hacer productos como bolsas para hielo, bolsas para artículos pesados y película de alta resistencia de las que se contraen por calentamiento. En estas aplicaciones, compete con los copolímeros de etileno-acetato de vinilo.

Las variedades que se emplean para moldeo por inyección, producen piezas con:

- Baja tendencia a salir deformadas.
- Excelente resistencia al agrietamiento ambiental.
- Buenas propiedades de impacto a bajas temperaturas.
- Buena resistencia térmica.

No en todos los casos se considera ventajoso usar los polietilenos lineales de baja densidad:

- Cuando se desean películas de alta transparencia.
- Cuando se hacen laminaciones de polietileno con otros productos como el papel, por ejemplo, las propiedades de flujo del lineal de baja densidad no permiten operar a las velocidades requeridas.

En esos casos, se prefiere al polietileno ramificado de baja densidad.

La sustitución del polietileno convencional por el lineal de baja densidad, requiere algunos cambios en las técnicas de procesamiento porque, en general, la variedad lineal, a causa de su mayor cristalinidad, es más rígida y requiere mayores temperaturas y presiones de procesamiento. En todo caso, las modificaciones son relativamente menores.

## COPOLIMÉROS DEL ETILENO

Ya hemos visto que los homopolímeros del etileno difieren entre ellos casi exclusivamente en su cristalinidad y en su peso molecular, y que pueden caracterizarse para la mayoría de los propósitos prácticos midiendo su densidad y su índice de fluidez, variando esos dos parámetros, se tienen resinas con características muy diversas. También se pueden introducir variaciones mediante el uso de aditivos. Empero, en los últimos años la demanda por nuevas propiedades en los polímeros del etileno, no se ha podido satisfacer a base únicamente de homopolímeros.

Entre las propiedades que han tenido que mejorarse están:

- Flexibilidad.
- Resistencia a la intemperie.
- Resistencia al impacto.
- Resistencia mecánica a bajas temperaturas.
- Resistencia al agrietamiento ambiental bajo esfuerzos.
- Transparencia.
- Resiliencia.
- Compatibilidad con aditivos.
- Adhesividad hacia metales y plásticos.

La solución para obtener poliolefinas con mejores propiedades, ha sido copolimerizar al etileno con otros monómeros.

Así han surgido varios copolímeros importantes:

- El polietileno lineal de baja densidad, copolímero de etileno con otras olefinas.
- EVA, copolímero de etileno con acetato de vinilo.

- Copolímeros del etileno con ácido acrílico o con ésteres del ácido acrílico.

La introducción de comonómeros destruye la regularidad estructural y reduce el grado de cristalinidad. Esto y la mayor polaridad, tienen como consecuencia los siguientes cambios en las propiedades en comparación con el homopolímero:

- Disminuye: rigidez, dureza, punto de cedencia y temperatura de distorsión.
- Aumenta: resistencia al agrietamiento provocado por atmósferas corrosivas, compatibilidad con aditivos, permeabilidad, brillo, transparencia, elongación, resistencia al impacto, resistencia a temperaturas bajas, resiliencia, solubilidad e hinchamiento y buena retención de tintas.

### COPOLIMEROS DE ETILENO CON ACETATO DE VINILO (EVA)

Las propiedades y usos de estos materiales dependen del porcentaje de acetato de vinilo (VA). En general, cuanto mayor sea el contenido del (VA), más transparente, suave y flexible será el copolímero. Como el monómero de acetato de vinilo tiene una densidad bastante mayor que la del etileno, la densidad del copolímero aumenta con el mayor contenido de (VA), a pesar de que su cristalinidad disminuye, así como su temperatura de fusión.

Los copolímeros con bajo contenido de (VA), 1 a 6% son especialmente apropiados para hacer películas, por su flexibilidad, buena resistencia al impacto y al desgarre, así como su alto brillo.

Otras características destacables son:

- Baja temperatura de ablandamiento.
- Buenas características para el jalado de la película.
- Buenas propiedades a bajas temperaturas.
- Amplio intervalo de temperaturas de sellado.
- Buena adherencia de las tintas de impresión.

Sin embargo, debemos mencionar algunas de sus desventajas:

- Alta permeabilidad,

- Malas propiedades de deslizamiento.
- Mucho bloqueo, es decir, una película se pega con otra y se dificulta abrir las bolsas.

Los dos últimos defectos se tienen que corregir con aditivos, por lo que añaden costo al material y lo vuelven menos transparente.

**Las aplicaciones principales son:**

- Adhesivos de fusión (Hot-melts).
- Películas para bolsas de alta resistencia al desgarre.
- Películas para bolsas de alta resistencia a temperaturas bajas (bolsas para hielo).
- Películas que se contraen por el calor.
- Películas para invernadero.

La resistencia mecánica es menos afectada por el sol que las del polietileno y dan servicio durante más tiempo aún cuando estén expuestas a vientos fuertes.

En coextrusiones con homopolímeros, particularmente polipropileno o polietileno de alta densidad, han tenido éxito en las envolturas para el pan y otros alimentos por su excelente brillo, retención de tintas, alta resistencia y buen sellado. En otros casos también han tenido éxito en productos resistentes al agrietamiento por atmósferas corrosivas, envases para shampoo y limpiadores líquidos, así como recubrimientos de cables, por su excelente resistencia a bajas temperaturas. En ésta aplicación el EVA, supera al polietileno lineal de baja densidad.

Para conseguir buena resistencia al agrietamiento ambiental, no se requiere usar copolímero puro, basta mezclar homopolímero con un copolímero EVA. en cuyo caso se requiere un EVA con alto contenido de VA, por ejemplo 30%.

Los copolímeros EVA con porcentajes intermedios de VA, se procesan:

- a) Por extrusión, con dados para placas, tubería, cable o perfiles. Los copolímeros pueden pigmentarse con los mismos materiales que se usan para los polietilenos. Los productos

que se van a usar a la intemperie requieren, como siempre, absorbedores de luz ultravioleta en combinación con anti-oxidantes. También aceptan negro de humo.

- b) Moldeo por inyección, para hacer piezas muy diversas, especialmente las que requieren alguna flexibilidad, como por ejemplo los sellos y empaques. Para elevar la temperatura de distorsión pueden entre cruzarse ligeramente con peróxidos durante el procesamiento.
- c) Moldeo por soplado. El índice de fluidez de los copolímeros no es muy alto, por lo que pueden elaborarse botellas para shampoo y otros productos basándose en detergentes, para aprovechar la resistencia de los copolímeros EVA al agrietamiento ambiental, así mismo se hacen juguetes, que en algunos casos requieren cierta resistencia.

Debido a su carácter polar, los copolímeros EVA tienen mayor compatibilidad con rellenos inorgánicos que los homopolímeros. Estos rellenos normalmente no se usan para reducir costos, sino para impartir propiedades especiales:

Ferrita de bario, para producir materiales magnéticos que se usan, como sellos en las puertas de los refrigeradores. Añadiendo gis se obtienen acabados mate y texturas como la del cuero.

Sulfato de bario, para propósitos médicos: pequeños tubos y otras piezas. El propósito es crear contraste para rayos X.

Mica para aislamiento acústico en placas moldeadas por compresión.

#### Otras aplicaciones:

Los copolímeros EVA también se emplean para mejorar ciertas propiedades de otros termoplásticos. Por ejemplo, la adición de 1 a 3 % de EVA puede mejorar las características de procesamiento de los compuestos de PVC sin plastificar, para moldeo por soplado.

## **CLORURO DE POLIVINILO (PVC)**

Este polímero se obtiene polimerizando el cloruro de vinilo. Existen dos tipos de cloruro de polivinilo, el flexible y el rígido. Ambos tienen alta resistencia a la abrasión y a los productos químicos. Estos materiales pueden estirarse hasta 4.5 veces su longitud original.

El PVC rígido tiene densidades de 1.3 a 1.6. Los artículos hechos con este material no pueden estirarse más del 40% de su longitud original.

El cloruro de Polivinilo se suele copolimerizar con otros monómeros para modificar y mejorar la calidad de la resina.

El copolímero de PVC con acetato de vinilo es más flexible, posee mayor resistencia a la tensión, tiene menor punto de fusión y es más estable al calor y a la luz que el cloruro de polivinilo. Las resinas de PVC casi nunca se usan solas, sino que se mezclan con diferentes aditivos. El PVC flexible constituye el 50% de la producción, y se destina para hacer manteles, cortinas para baño, muebles, alambres y cables eléctricos, tapicería de automóviles, etc. El PVC rígido se usa en la fabricación de tuberías para riego, juntas, techado, botellas, y también de partes de automóviles.

## **POLIESTIRENO (PS) Y COPOLIMEROS DE ESTIRENO**

El poliestireno (PS) es el tercer termoplástico de mayor uso debido a sus propiedades y a la facilidad de su fabricación.

El PS posee baja densidad, estabilidad térmica, y bajo costo, sin embargo, algunas de sus propiedades físicas pueden ser desfavorables, como el hecho de ser rígido y quebradizo. Estas desventajas pueden remediarse copolimerizando el estireno con otros monómeros y polímeros. Así por ejemplo, cuando se copolimeriza el estireno con el acrilonitrilo (SAN), el polímero resultante tiene alta resistencia a la tensión.

El poliestireno es una resina clara y transparente con un amplio rango de puntos de fusión. fluye fácilmente, lo que favorece su uso en el moldeo por inyección. Posee buenas propiedades eléctricas que lo hacen apropiado para aplicaciones electrónicas. El PS absorbe poca agua, lo



que permite que sea un buen aislante eléctrico. Tiene una resistencia moderada a los productos químicos, pero es atacado por los hidrocarburos aromáticos y los clorados.

Esta resina se comercializa en tres diferentes formas y calidades:

- El primer tipo, denominado de uso común o cristal, encuentra sus principales aplicaciones en los mercados de inyección y moldeo.
- El segundo tipo corresponde al poliestireno de impacto (alto, medio y bajo) que sustituye al de uso general cuando se desea mayor resistencia. Este se utiliza también en los mercados de moldeo para la fabricación de aparatos del hogar, accesorios eléctricos, empaque, juguetes y muebles.
- Finalmente, el tipo expandible se emplea en la fabricación de espuma de poliestireno que, a su vez, se utiliza en la producción de accesorios para la industria de empaques y aislamientos.

En 1983, la producción de poliestireno en México, según los diferentes tipos, fue la siguiente:

Impacto, 52%; cristal, 35%; expandible, 13%.

**Los usos más comunes del poliestireno en México son los siguientes:**

**Poliestireno de medio impacto:** Envases desechables (vasos, cubiertos, platos), empaques, juguetes.

**Poliestireno de alto impacto:** Productos domésticos (radios, televisores, tableros internos de refrigeradores, licuadoras, batidoras, lavadoras, etc.), tacones para zapatos, juguetes.

**Poliestireno cristal:** Piezas moldeadas para cassettes, envases desechables, juguetes, artículos electrodomésticos, difusores de luz, plafones.

**Poliestireno expandible:** Envases térmicos, empaques, construcción (aislamientos, tableros de cancelaría, plafones, casetones, etc.).

## ESTIRENO-ACRILONITRILO (SAN)

El copolímero estireno-acrilonitrilo tiene mejor resistencia química y térmica, así como mayor rigidez que el poliestireno. Sin embargo, el SAN no es transparente como el PS, por lo que se usa en artículos que no requieren claridad óptica. Algunas de sus aplicaciones las encontramos en la fabricación de artículos para el hogar como batidoras, licuadoras, aspiradoras, etc.

## COPOLIMERO ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)

Estos polímeros son plásticos duros con alta resistencia mecánica, de los pocos termoplásticos que combinan la resistencia con la dureza. Se pueden usar en aleaciones con otros plásticos. Así por ejemplo, el ABS con el PVC nos da un plástico de alta resistencia a la flama que le permite encontrar amplio uso en la construcción de televisores.

Otras aplicaciones importantes de ABS son la fabricación de tuberías, juntas, revestimientos para las puertas de los refrigeradores y partes moldeadas de automóviles (los autos fabricados en 1995 usaron aproximadamente 14 kilos de ABS cada uno).<sup>3</sup>

La tabla 2.1 muestra algunos usos y aplicaciones de los principales termoplásticos.

TIPO	CARACTERÍSTICAS	USOS
PET Poliétileno Tereftalato  1	Se produce a partir del Acido Tereftálico y Etilenglicol, por poli condensación; existiendo dos tipos: grado textil y grado botella. Para el grado botella se lo debe post condensar, existiendo diversos colores para estos usos.	Envases para refrescos, aceites, agua mineral, cosméticos, frascos varios (mayonesa, salsas, etc.). Películas transparentes, fibras textiles, laminados de barra (productos alimenticios), envases al vacío, bolsas para horno, bandejas para microondas, cintas de video y audio, geotextiles (pavimentación /caminos); películas radiográficas.
HDPE Poliétileno de Alta Densidad  2	El polietileno de alta densidad es un termoplástico fabricado a partir del etileno (elaborado a partir del etano, uno de los componentes del gas natural). Es muy versátil y se lo puede transformar de diversas formas: Inyección, Soplado, Extrusión, o Rotomoldeo.	Envases para: detergentes, suavizantes, aceites para motores, shampoo, lácteos, bolsas para supermercados, bazar y menaje, cajones para pescados, refrescos y cervezas, baldes para pintura, helados, aceites, tambores, cañerías para gas, telefonía, agua potable, minería, drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas.

<sup>3</sup>Polímeros (Propiedades y Aplicaciones); Dr. Ernesto Ureta 1ª edición 1989, Editorial LIMUSA, pags. 59-96

<p>PVC Cloruro de Polivinilo</p> <p>3</p>	<p>Se produce a partir de dos materias primas naturales: gas 43% y sal común (*) 57%. Para su procesado es necesario fabricar compuestos con aditivos especiales, que permiten obtener productos de variadas propiedades para un gran número de aplicaciones. Se obtienen productos rígidos o totalmente flexibles (Inyección - Extrusión - Soplado). (*) Cloruro de Sodio (NaCl).</p>	<p>Envases para agua mineral, aceites, jugos, mayonesa. Perfiles para marcos de ventanas, puertas, cañerías para desagües domiciliarios y de redes, mangueras, blister para medicamentos, pilas, juguetes, envolturas para golosinas, películas flexibles para envasado (carnes, panes, verduras), film cobertura, cables, imitación de cuero, papel vinílico (decoración), catéteres, bolsas para sangre.</p>
<p>LDPE Poliétileno de Baja Densidad</p> <p>4</p>	<p>Se produce a partir del gas natural. Al igual que el HDPE es de gran versatilidad y se procesa de diversas formas: Inyección, Soplado, Extrusión y Rotomoldeo. Su transparencia, flexibilidad, tenacidad y economía hacen que esté presente en una diversidad de envases, sólo o en conjunto con otros materiales y en variadas aplicaciones.</p>	<p>Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc. Películas para: Agro (recubrimiento de Acequias), envasado automático de alimentos y productos industriales (leche, agua; plásticos, etc.). Streech film, base para pañales desechables. Bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos. Tubos y pomos (cosméticos, medicamentos y alimentos), tuberías para riego.</p>
<p>PP Polipropileno</p> <p>5</p>	<p>El PP es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso. El PP es un plástico rígido de alta cristalinidad y elevado Punto de Fusión, excelente resistencia química y de más baja densidad. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.), se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería. (El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado, extrusión y termoformado.)</p>	<p>Película/Film (para alimentos, bocados, cigarrillos, chicles, golosinas, indumentaria). Bolsas tejidas (para papas, cereales). Envases industriales (Maxi bolsas). Hilos cabos, cordelería. Cañerías para agua caliente. Jeringas desechables. Tapas en general, envases. Bazar y menaje. Cajones para bebidas. Baldes para pintura, helados. Botes para margarina. Fibras para tapicería, cubrecamas, etc. Telas no tejidas (pañales desechables). Alfombras. Cajas de batería, parachoques y partes de automóviles.</p>
<p>PS Poliestireno</p> <p>6</p>	<p>PS Cristal: Es un polímero de estireno monómero (derivado del petróleo), cristalino y de alto brillo. PS Alto Impacto: Es un polímero de estireno monómero con occlusiones de Polibutadieno que le confiere alta resistencia al impacto. Ambos PS son fácilmente moldeables a través de procesos de: Inyección, Extrusión, Termoformado y Soplado.</p>	<p>Potes para lácteos (yoghurt, postres, etc.), helados, dulces, etc. Envases varios, vasos, bandejas de supermercados y roscas. Heladeras: contraportas, anaqueles. Cosmética: envases, máquinas de afeitar desechables. Bazar: platos, cubiertos, bandejas, etc. Juguetes, cassetes, ampollitas, etc. Aislantes: planchas de PS espumado.</p>

Tabla 2.1  
"Propiedades de los termoplásticos"

# **CAPITULO 3**

## **MAQUINAS PARA TRITURAR Y SUS CARACTERISTICAS**

La investigación de equipos comerciales disponibles, es un punto de partida importante para el proyecto, ya que al contemplar configuraciones ya existentes, se tiene un panorama de las soluciones ya planteadas así como sus ventajas y sus principales aplicaciones. En el presente capítulo se contempla maquinaria comercial para distintas aplicaciones, cuyo producto (plástico triturado) cae dentro de nuestra aplicación. Esta investigación da la posibilidad de describir las principales características con que cuentan éstas máquinas.

### 3.1 TIPOS DE MOLINOS

Los diferentes molinos que se describirán a continuación son máquinas que cumplen con el objetivo de nuestra investigación, aunque algunos no necesariamente se utilicen en la industria de transformación de plásticos.

**Molino de cuchillas (Fig. 3.1).** Se presentan muchas situaciones en las que se desea reducir el tamaño de una masa sólida a dimensiones regulares mas pequeñas. Entre los ejemplos típicos de ésta índole están:

El corte o la reducción de masas de hule o plásticos, partiendo de un extrusor, hojas laminadas o piezas misceláneas, el rebanado otros materiales tales como cartón, fibras, etc.

Modelos disponibles desde 3 Hp hasta 100 Hp. Con sistemas de enfriamiento por agua (opcionales).

**Quebradoras de quijadas (Fig. 3.2).** Las muelas son de acero fundido al alto manganeso. Se construyen en modelos que van desde 3 Hp hasta 60 Hp, con bocas de alimentación desde 4" por 8" hasta 14" por 36". Las quebradoras de quijadas son equipos primarios que reducen tamaños de partículas grandes por medio de esfuerzos de compresión y corte. Están contruidos con placas de acero electro-soldado en su bastidor de gran robustez.

**Molino de rodillos (Fig. 3.3).** Se fabrican con rodillos lisos o estriados en acero resistente a la abrasión. El efecto de reducción es por compresión esto se traduce en un bajo desgaste de los rodillos. Producen tamaños de partículas uniformes con el mínimo de finos. Existen modelos desde 2 HP hasta 60 HP, con tamaños de rodillos desde 8" hasta 24".

También se fabrican con rodillos lisos de velocidad diferencial para la molienda en semi húmedo de arcillas para producir tamaños de hasta 1/2mm. Cuenta con sistemas de protección a base de fusibles de rotura o resortes.

**Molinos de martillos (Fig. 3.4).** Se trata de un confiable molino de impacto a base de martillos colgantes que es ideal para la molienda fina y semi fina de minerales no metálicos de dureza media, carbón mineral y muchos otros materiales.

Ofrecen las siguientes ventajas:

- Amplio rango de capacidades, produciendo desde 1/4 de ton./hora. hasta 15 tons./hora. de producto pulverizado en finuras que van desde la malla No. 40, hasta por arriba del 98% a través de malla No. 325.
- Construcción para servicio pesado, para operación continua las 24 hrs. con mínimos gastos de mantenimiento.
- Baja temperatura de operación, con potencias desde 50 hasta 200 HP.

**Molinos de bolas (Fig. 3.5 y 3.6).** Construidos con carcasas robustas de acero al carbón o inoxidable. Recubrimientos opcionales en porcelana de alta alúmina, sílice y aceros resistentes a la abrasión, etc. Transmisiones por medio de poleas y bandas trapezoidales múltiples (opcionales).

Se construyen desde tamaño laboratorio hasta con capacidades de 40,000 lts. Opciones para molienda en seco, en húmedo, intermitentes o continuos. Opciones para operar con sistemas de clasificación y barrido de aire para un control preciso del tamaño de partícula del producto.

**Molinos de perlas y dispersores (Fig. 3.7).** Para la dispersión fina y micro-molienda en húmedo, utilizando perllas de vidrio duro o acero fino. Puede moler cualquier sustancia molturable al grado de finura deseado hasta por el orden de una micra. Para todo tipo de dispersión de pigmentos y cargas micronizadas comunes. Esmaltes grasos y pinturas. Esmaltes sintéticos de secado al horno o al aire. Tintas de rotogravado y flexografía. Recubrimientos para

pieles. Dispersiones para la industria textil. Se fabrican desde tamaño laboratorio hasta con potencia de 60 HP.<sup>4</sup>



Fig. 3.1 "Molino de cuchillas"

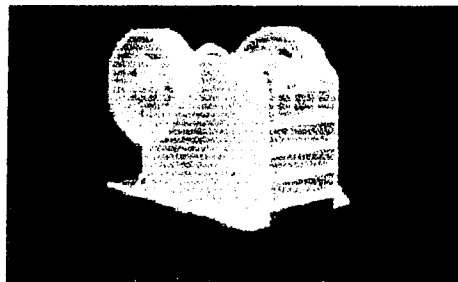


Fig. 3.2 "Molino de quijadas"

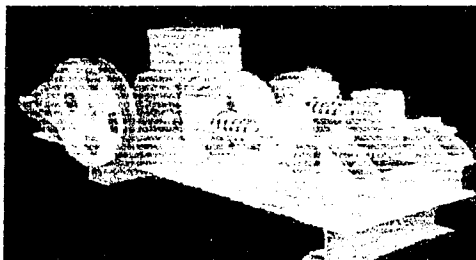


Fig. 3.3 "Molino de Rodillos"

<sup>4</sup> [www.wtmexico.com/comesa/máquinaria/html](http://www.wtmexico.com/comesa/máquinaria/html)

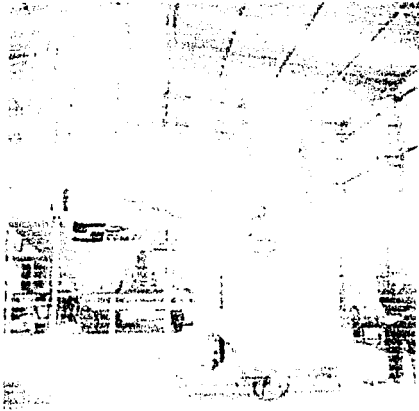


Fig. 3.4 "Molino de Martillos"

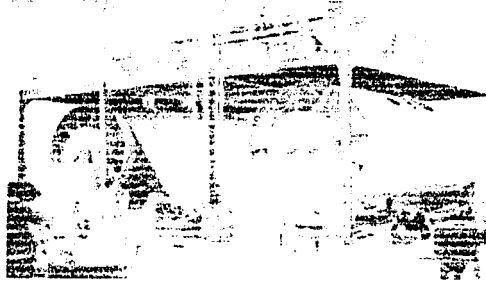


Fig. 3.5 "Molino de Bolas"



Fig. 3.6 "Molino de Bolas"

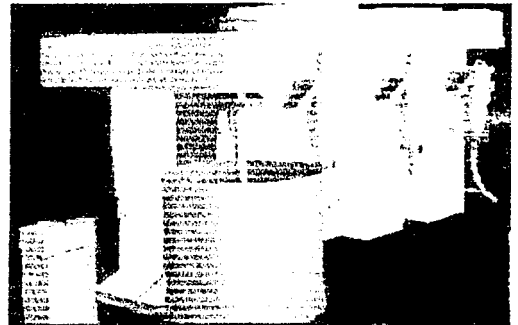


Fig. 3.7 "Molino de Perlas"



### 3.2 MOLINOS CONVENCIONALES Y COMERCIALES

Los diferentes requerimientos de la industria del plástico, dan como resultado una gran gama de máquinas que se diseñan para una aplicación en específico, principalmente para la industria, y se comercializan para una gran variedad de productos, ya que una misma máquina se recomienda para diferentes tipos de plásticos, y únicamente lo que importa es la forma en la cual fue procesado el plástico que se quiere triturar, para determinar que tipo de máquina ha de utilizarse para dicho proceso.

Existe una gran variedad de marcas en todo el mundo que se dedican a la fabricación de este tipo máquinas, de las cuales sólo mencionaremos una, (DYCOMET PAGANI) la cual es la única que los fábrica en México y, por tanto, pudimos obtener información directa de los mismos fabricantes.

A continuación se muestran los diferentes tipos de molinos que fabrica la empresa DYCOMET PAGANI.

#### *Serie "L"*

##### **1520 / 2030 / 2060**

Molinos de dimensiones reducidas y bajo nivel de ruido, se recomiendan para operar a "pie de máquina". Facilitan la recuperación inmediata y total de partes pequeñas y medianas o coladas, para evitar manejo y almacenaje de los mismos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

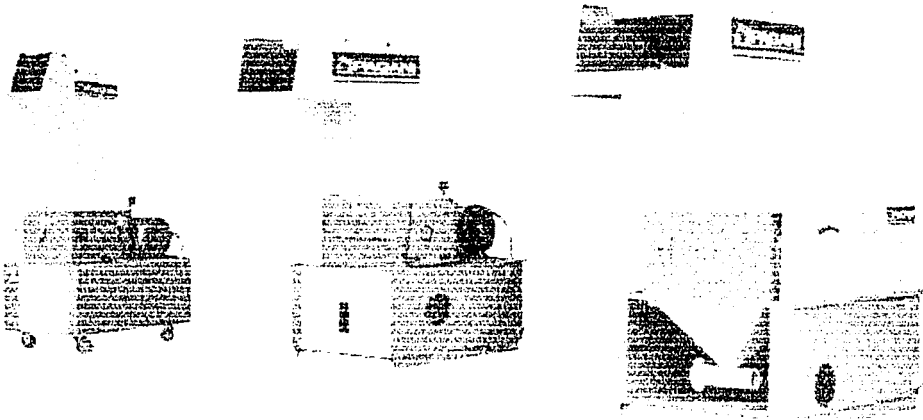


Fig.3.8  
"Molinos PAGANI serie L"

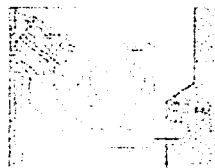
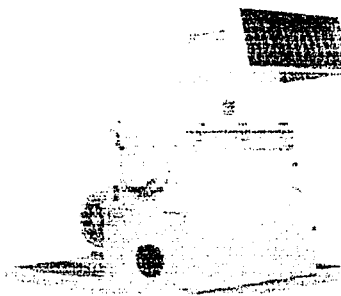
Modelo	HP Motor	Enfriamiento Rotor-Caja	Diámetro rotor		Boca alimentación		Largo cuchillas		n cuchillas		Producción		Peso máquina		Dimensiones		
			(mm)	(inch)	(mm)	(inch)	(mm)	(inch)	rotor	cajas	Kg/h	lbs/h	Kg/h	lbs/h	(mm)	(inch)	
1520-L	3/5	Aire	150	6"	150X200	6x8"	200	8"	2	2	30/60	65/135	240	530	840-33"	440-17"	1500-59"
2030-L	5/7.5	Aire	200	8"	200x300	8x12"	300	12"	3	2	60/100	132/220	430	950	1300-52"	600-24"	1800-83"

Tabla 3.1  
"Características de los Molinos serie L"

### **Serie "FA" y "CH"**

**2535 / 2550**

Esta línea reúne todas las características que el transformador moderno exige de una máquina: alta eficiencia, bajo nivel de ruido, facilidad de operación y mínimo mantenimiento. Por su tamaño los molinos de la serie <<FA>> son los más utilizados en la industria y conjugan la versatilidad de los equipos pequeños con una gran resistencia a los trabajos más rudos y continuos



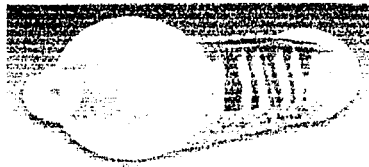
**Fig. 3.9**

**"Molino PAGANI serie FA 2535 y su cámara de molienda"**

**2575 / 25100 / 25140**

Los molinos 2575, 25100 y 25140 de las series FA o CH con características de construcción similares a los modelos arriba descritos, están diseñados especialmente para la molienda de piezas de gran tamaño y poco espesor, tales como partes termoformadas, laminados, así como rollos suajados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 3.10**  
**"Molino PAGANI serie CH 2575 y su rotor"**

Modelo	HP Motor	Enfriamiento		Diámetro rotor		Boca alimentación		Largo cuchillas		n cuchillas		Producción		Peso máquina		Dimensiones
		Rotor	Caja	(mm)	(inch)	(mm)	(inch)	(mm)	(inch)	Rotor	Cajas	Kg/h	Lbs/h	Kg	Lbs	
2535-FA/CH	10/15/20	Aire	agua	250	10"	250x350	10x14"	350	14"	3	2	80/200	175/440	850	1870	1410-56" 830-33" 1700-70"
2550-FA/CH	20/25/30	Aire	agua	250	10"	250x500	10x20"	500	20"	3	2	120/300	265/660	1100	2420	1410-56" 980-39" 1700-70"
25100-FA/CH	30/40	Aire	agua	250	10"	250/1000	10x40"	1000	40"	3	2	250/500	440/1100	1700	3750	1410-56" 1500-59" 1700-70"
25140-FA/CH	25/40	Aire	agua	250	10"	250x1400	10x55"	1400	55"	3	2	240/600	440/1100	2100	4630	1410-56" 1550-61" 1700-70"

**Tabla 3.2**  
**"Características de los Molinos serie FA y CH"**

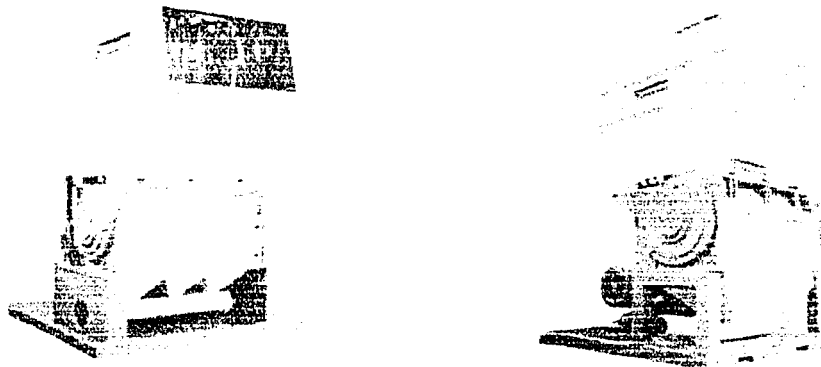
## **Serie "FA" y "EHD"**

### **4090 "EHD"**

Diseñados y contruictos para la eficiente recuperaci3n de partes de gran tama1o y espesor, estos molinos son de estructura muy robusta. Su rotor de mltiples cuchillas, permite una f3cil molienda de purgas, plstas y tuberías de gran espesor.

### **55120 "FA"**

Molinos de alta producci3n. Por su dimensi3n en la boca de alimentaci3n y dise1o de la c3mara de molienda, permite granular piezas de grandes dimensiones, con un rendimiento muy elevado. Dise1ados para una r3pida y f3cil limpieza y mantenimiento.



**Fig. 3.11**

**"Molinos 4090 y 55120 de las series EDH y FA respectivamente"**



**Fig. 3.12**

**"Molino Abierto"**

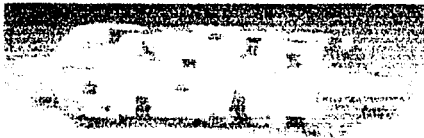
Un sistema hidráulico manual permite la apertura del molino con un mínimo esfuerzo



**Fig. 3.13**

**"Caja de molienda con corte tangencial"**

Los molinos PAGANI de cuchillas inclinadas mantienen un diámetro constante de rotación.



**Fig. 3.14**

**"Rotor escalonado para piezas  
de grandes dimensiones"**

Manufacturado a partir de una pieza sólida de acero aleado y especialmente diseñado para la molienda de plastas y piezas de gran espesor.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> [www.pagani.com.mx](http://www.pagani.com.mx)

Modelo	Enfriamiento		Diámetro rotor		Rotor	Boca alimentación		Largo cuchillas		n cuchillas		Producción		peso máquina		Dimensiones (mm) (Inch)
	Rotor	Caja	(mm)	(Inch)		(mm)	(Inch)	(mm)	(Inch)	rotor	Caja	Kg/h	Lbs/h	Kg	Lbs	
4060-FA	aire	agua	400	16"	abierto e inclinado	400X600	16X24	600	24	3 ó 5	2	250/600	550/1450	2200	4800	2110--83 1250--49 2110--83
4090-FA	aire	agua	400	16"	abierto e inclinado	400X900	16X36	900	36	3 ó 5	2	350/900	770/2000	2600	5700	2110--83 1650--61 2110--83
4060_EHD	aire	agua	400	16"	cerrado, semi-cerrado	400X600	16X24	600	24	3X5	2	250/500	550/1100	2500	5700	2110--83 1370--54 2110--83
4090-EHD	aire	agua	400	16"	cerrado, semi-cerrado	400X900	22X36	900	36	5X5	2	350/800	770/1800	2600	5700	2110--83 1670--66 2110--83
5590-FA	aire	agua	550	22"	escalonado	550X900	22X36	900	36	3 ó 5 ó 7	2	400/1200	9000/600	3100	6800	2200--87 2200--87 3200--126
55120-FA	aire	agua	550	22"	escalonado	550X1200	22X48	1200	48	3 ó 5 ó 7	2	500/1500	1100/3300	4300	9500	2200--87 2600--100 3200--126
70120-FA	aire	agua	700	28"	escalonado	700X1200	28X48	1200	48	3 ó 5 ó 7	2	600/2000	1800/4500	600	13000	3900--154 3540--139 3400--134

**Tabla 3.3**  
**"Características de los Molinos PAGANI de las series FA y EDH"**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

# **CAPITULO 4**

## **PRINCIPIOS BASICOS DE LA TRITURACION**



#### 4.1 LA MOLIENDA COMO PROCESO DE RECICLADO DEL PLASTICO.

##### Tipos de molienda.

Se pueden encontrar básicamente tres tipos, y estos son:

1. **Convencional.** Este tipo de proceso se distingue por las siguientes características:

- Este proceso es económico.
- El tamaño de la partícula después de procesado es fácil de manejar.
- Las fibras y películas requieren de previa compactación para un mejor manejo en el proceso de reciclado.
- El tamaño de la partícula o producto final es mas o menos uniforme, esto dependiendo del tipo de diseño de molino utilizado.

2. **En frío.**

3. **Criogénica.**

Estos dos procesos tienen las siguientes características:

- El tamaño de sus partículas es homogéneo.
- Es el único proceso para hules.
- Se alimenta cualquier tipo de material directamente.
- El producto presenta tamaño de partícula muy pequeño.

Estas son las características mas importantes en estos procesos, en los siguientes apartados se hablará con más claridad sobre estos procesos.

##### **Molienda convencional.**

Las piezas de gran tamaño, tortas de material fundido y cuerpos huecos exigen, según el tipo de material y de su forma, la utilización de instalaciones de corte molienda especial. Los

molinos ayudan a fragmentar, pero cuando reduce finalmente el material se denominan pulverizadores.

**El principio de funcionamiento es el siguiente:**

Fracturar el material en base a golpes contra cuchillas instaladas en el rotor (móviles) y una carcasa del equipo (fijas).

Las cuchillas pueden ser:

Cerradas.- Son para piezas compactas y pesadas.

Abiertas.- Estas se utilizan para artículos ligeros y voluminosos.

Para seleccionar un molino de acuerdo a las necesidades existentes se deben considerar los siguientes factores:

- El tipo de plástico.
- El estado del material, esto es, si son piezas de inyección, cuerpos huecos, piezas compactas, rebabas, coladas, y /o masas fundidas.
- Las dimensiones del material a triturar.
- Ver si el tamaño de grano final es el requerido o el usual.
- Verificar que no se contamine el material a procesar con cuerpos extraños, los cuales podrían ser rebabas de acero, material que no sea el que estamos procesando, etc.
- Y por ultimo se tiene que considerar que el molino abastezca la producción que se requiere.

La molienda convencional es uno de los procesos mas económicos y fácil de utilizar, esto nos trae como consecuencia que muchos industriales consideren el invertir en el reciclaje, esto con el objetivo de hacer mas productivo al país, además de reducir los contaminantes generados por la industria del plástico.

## En frío y criogénica.

**Molienda criogénica.-** El propósito principal de la molienda criogénica es obtener polvos con tamaño de partícula adaptables a revestimientos, roto-moldeo, mezclas secas y soluciones de polímeros. Para reducir eficazmente el tamaño de los polímeros, la molienda criogénica emplea un compuesto refrigerante (llamado criogénico), que es un gas licuado que presenta temperatura de ebullición inferior a  $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Debido a factores de seguridad, costo y disponibilidad, el anhídrido carbónico líquido y el nitrógeno líquido son los únicos fluidos apropiados para la molienda criogénica.

El gas criogénico de mas uso es el nitrógeno, ya que contacta inmediatamente con el material de alimentación a  $-78^{\circ}\text{C}$ , proporcionando excelente transferencia de calor. La mayoría de los polímeros mas resistentes presenta fragilidad por debajo de  $-78^{\circ}\text{C}$ , por ello requieren enfriamiento con nitrógeno líquido.

### Principio de funcionamiento:

Una vez separados los desperdicios plásticos, son transportados al granulador en un medio refrigerado a  $-40^{\circ}\text{C}$ , para aquellos polímeros que requieren largos tiempos de enfriamiento. Una vez limpio el material de desecho, el nitrógeno líquido que se encuentra almacenado a unos  $-190^{\circ}\text{C}$  y  $1.7\text{ kg./cm}^2$  en recipientes de 1,134 a 34,020 lt. se transfiere a las líneas de transporte aisladas, con el fin de enfriar al polímero; además de rociar directamente el nitrógeno líquido sobre el polímero, el nitrógeno líquido cambia rápido a gas, absorbiendo calor de vaporización del material de alimentación. El nitrógeno frío continúa enfriando al polímero hasta su punto de fragilidad, para después entrar a un molino donde será reducido a un polvo, que sale a través de la abertura de descarga hacia el sistema colector.

**Molienda en frío.-** En este proceso no se desarrollan temperaturas demasiado bajas, sólo se alcanzan las necesarias para fracturar el material. Se gasta menos nitrógeno líquido y aumenta la calidad del producto al conseguir tamaños de partículas mas uniformes con menor costo, siempre y cuando se trabaje sólo un material.

## 4.2 ELEMENTOS QUE COMPONEN A UNA TRITURADORA DE PLASTICOS

El reciclado de plásticos a través de la molienda convencional se entiende por la fracturación del material, por medio del corte de cuchillas, a través de un rotor en el cual están instaladas las cuchillas móviles, y en la cámara de molienda del equipo se encuentran las cuchillas fijas. El reciclado convencional se usa principalmente para fracturar materiales plásticos que pueden haber sido utilizados o no.

Por medio de una boca de alimentación se vierte el material dentro de la cámara de molienda, donde el material caerá directamente sobre el rotor y este arrastrará el material entre sus cuchillas hasta fracturarlo a la medida de la criba seleccionada.

Tomemos como ejemplo una máquina trituradora de plásticos de la marca DYCOMET PAGANI:

### 1. CAMARA DE MOLIENDA (Fig. 4.1)

Construidas completamente por placas de acero rectificadas y de gran espesor. Su diseño, permite un fácil acceso para una rápida y cómoda operación de limpieza.

### 2. ROTOR (Fig. 4.2)

Completamente de acero, rectificado y balanceado.

### 3. POLEAS (Fig. 4.3)

Maquinadas de placa de acero, se sujetan al rotor por medio asiento cónico y cuñero de seguridad. Un adecuado efecto de inercia asegura una operación suave y uniforme.

### 4. CUCHILLAS (Fig. 4.4)

Fabricadas en acero AISI D-2 con alto contenido de cromo y tratadas térmicamente a 56/58 Rc, garantizan una alta resistencia al impacto y la máxima durabilidad de los filos de corte.

### 5. CRIBAS (Fig. 4.5)

Un sencillo sistema de ejecución permite removerlas en pocos segundos. Se fabrican en placas roladas de acero de alta calidad. Disponibles con diferentes diámetros de barrenos.



Fig. 4.1  
"Cámara de Molienda"

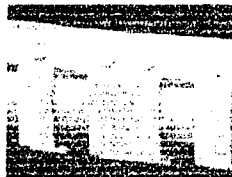


Fig. 4.2  
"Rotor"



Fig. 4.3  
"Polea"

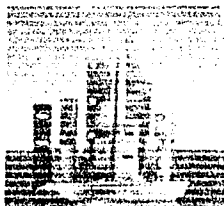


Fig. 4.4  
"Cuchillas"



Fig. 4.5  
"Cribas"

### 4.3 TIPOS DE ROTORES

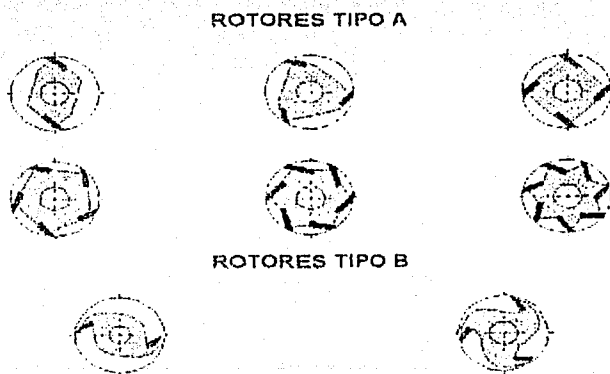
Como se ha podido observar a lo largo de todo este trabajo, el elemento mas importante de la máquina trituradora, es sin lugar a dudas el que conforman la flecha junto con las cuchillas móviles, que en su conjunto se denomina **rotor**. El rotor es la base principal sobre el cual se sustenta la mayor parte del diseño, ya que este debe cumplir con todos los requerimientos mecánicos para realizar su tarea dentro de la máquina y así de esa manera cumplir con los requerimientos del diseño.

La forma, tamaño, cantidad y disposición de las cuchillas, son algunos de los parámetros mas importantes de un rotor, dichos parámetros nos indican cual rotor es el mas optimo para el tipo, forma y tamaño del plástico que se desea triturar.

A continuación se mostrarán algunas configuraciones de rotores que existen en el mercado, y que ya está comprobada su eficiencia y capacidad para las diferentes tareas a los que son sometidos y, por lo tanto, no es necesario poner en duda su funcionamiento. Basta sólo con saberlos aplicar bien, para permitir un mejor rendimiento, según sea la situación específica. Los rotores se dividen en dos tipos, los cuales son, Tipo A y Tipo B.

Básicamente los tipos A son ideales para moler piezas inyectadas compactas y pequeñas, el rango de velocidad a la que giran, oscila ente 400 y 600 rpm.

Los tipos B son para moler piezas provenientes de soplado, extrusión y película termoformada, el rango de velocidad a la que giran, es menor que la de los tipo A, y oscila ente 250 y 400 rpm.



**Fig. 4.6**  
**"Tipos de Rotores"**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# **CAPITULO 5**

## **DISEÑO CONCEPTUAL**

La parte mas importante de este trabajo, lo compone el diseño de la máquina trituradora; existen muchas corrientes y tendencias en cuanto a diseño se refiere. Debido al estudio que se realizó en el capítulo 3 y lo mencionado en la introducción, se llega a la conclusión de que se requiere una máquina trituradora que mejore el proceso de molienda de polímeros termoplásticos, en base a un menor consumo de energía y menor costo de producción.

Con este precedente se empleará el método de diseño de Hubka [ 1 ] para sistemas mecánicos. Así el proceso de diseño en el presente trabajo se divide en tres etapas principales, las cuales son: Planteamiento de la necesidad, Diseño Conceptual, en él se establecen las especificaciones de diseño, se determinan los sistemas funcionales y se plantean soluciones técnicas apropiadas, las cuales son evaluadas basándose en una serie de parámetros de índole técnico y económico. Con las soluciones técnicas mejor calificadas, se forman combinaciones, las cuales también son calificadas, eligiendo la mejor opción, al final de esta fase se tendrá un concepto, el cual contiene los elementos principales que conforman la máquina, finalmente el Diseño de Detalle. En este capítulo se tratarán las dos primeras etapas, y la última en el capítulo 6.

La Figura 5.1 muestra el proceso de diseño.



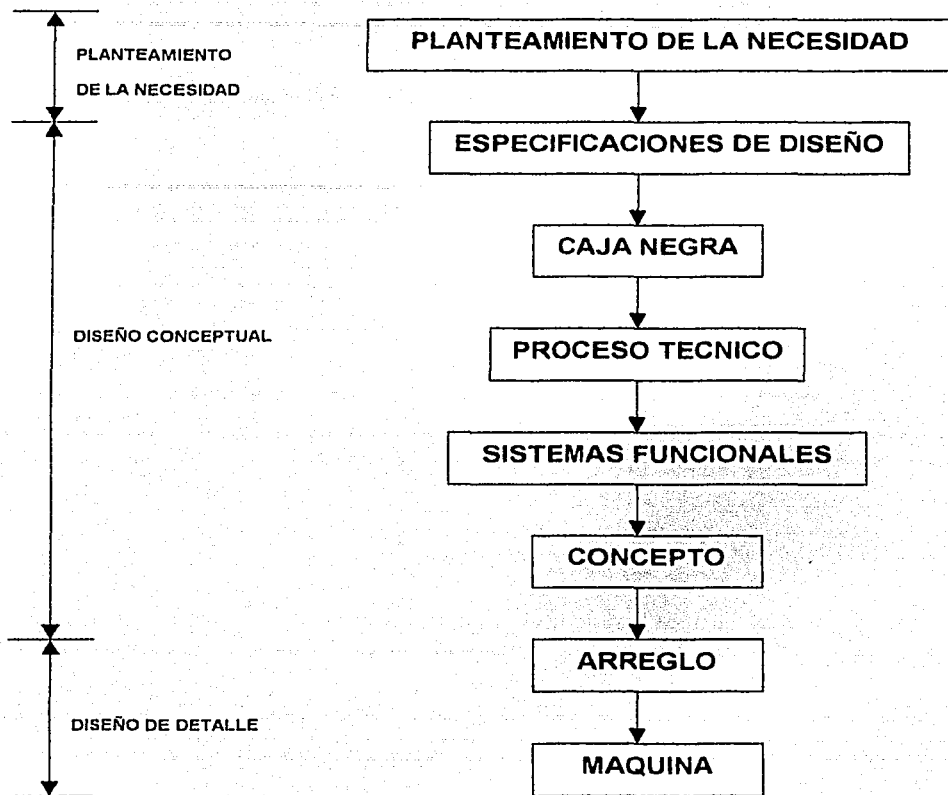


Fig. 5.1  
"Seguimiento del proceso de diseño"

## 5.1 PLANTEAMIENTO DE LA NECESIDAD.

En el taller de ingeniería mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se cuenta con una máquina inyectora de plásticos ( de 50 ton y 270 grm de inyección), la cual sirve para fines didácticos, así como para el desarrollo de distintos proyectos de investigación, dicha máquina, como todas las de su género, produce piezas inyectadas cuya forma depende del molde que tenga instalado. Para que las piezas que se inyecten salgan como se desea, es necesario determinar y controlar una serie de variables e ir haciendo pruebas para establecer los valores idóneos de estas variables para cada tipo de polímero que se desea inyectar. Las pruebas que se van haciendo producen piezas defectuosas, lo cual repercute en material virgen echado a perder, y en otro de los casos, aún cuando las piezas sean buenas, como es el caso de las probetas que sirven para pruebas mecánicas de distintos polímeros, éstas se destruyen como consecuencia de las pruebas que se les realizan, y en todos los casos cuando se inyecta un polímero, las piezas que se obtienen ya sea buenas o malas, siempre existe material de sobra, el cual sirvió para llenar las cavidades del molde. Todo este material, es necesario triturarlo, para posteriormente reciclarlo.

De acuerdo a la investigación realizada en el capítulo anterior, la maquinaria existente en el mercado, excede con mucho las necesidades del laboratorio, por lo cual una inversión en cualquier modelo de trituradora no sería rentable para nuestro caso, ya que nunca se ocuparía al máximo de su capacidad; por lo tanto, es necesaria una máquina que cubra las expectativas requeridas de capacidad, potencia y economía para poder así, realizar la operación del reciclado del material sobrante de pruebas o inyección de piezas.

Así, el fin de este trabajo es el diseño de una máquina trituradora de plásticos dirigida a cubrir las necesidades de reciclado de los sobrantes de producción en los laboratorios de las

escuelas e instituciones que tengan este mismo problema, y brindarles la oportunidad de realizar una inversión menor, para aumentar su productividad y no tener así que contar con equipos grandes ni costosos o instalaciones especiales, debido a que el presente prototipo para el reciclado de los materiales sobrantes se podrá instalar en cualquier espacio con un área aproximada de  $1 \times 1 \times 1.5$  [m] y una conexión de 220 [V]. Además de un gran ahorro económico en el costo de fabricación, comparado con los equipos en el mercado.

Para un diseño adecuado, se requiere que se cumplan las características geométricas planteadas en el capítulo anterior, y de acuerdo con el análisis de éste, desarrollar la configuración más adecuada para este propósito. Y habiendo considerado las variables y el flujo de cantidad que podrá ser manejada para su reciclado, cubriéndola con un alto grado de confiabilidad, dado que se contempla la producción de material reciclado de 2.750 kg cada 15min con polietileno de baja densidad. La producción de un laboratorio como es el nuestro, obtuvimos que puede variar en un rango de 10 o 30 kg por día.

## 5.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.

En la tabla 5.1 se listan las especificaciones deseadas y requeridas para la máquina a diseñar. Estas se obtuvieron a partir de los requerimientos del taller de ingeniería mecánica, así como de los profesores encargados en esta área y de la investigación realizada en el capítulo 3.

## MAQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	REQUERIDO	DESEADO
<p>➤ <b>PROPÓSITO:</b> TRITURAR Y GRANULAR PLÁSTICOS .</p>	X	
<p>➤ <b>PARÁMETROS:</b> MATERIAL A TRITURAR.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• POLIPROPILENO (PP).</li> <li>• POLIETILENO CRISTAL.</li> <li>• POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE).</li> <li>• POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LDPE).</li> <li>• TODOS AQUELLOS POLIMEROS TERMOPLÁSTICOS QUE PROVENGAN DE INYECCIÓN.</li> </ul>	X X X X	X
<p>➤ <b>PROCESO:</b> CAPACIDAD: 5 Kg /h CONSISTENCIA FINAL: UNIFORME (SIMILAR A LA DE LOS PELETS (3X3X3mm)).</p>	X X	

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	REQUERIDO	DESEADO
<p>➤ <b>DIMENSIONES:</b> ADECUADA PARA UN ESPACIO DE 1X1X1.5 m</p>	X	
<p>➤ <b>OPERACIÓN:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• TIEMPO PARA LIMPIEZA MENOR A 5 minutos.</li> <li>• MANTENIMIENTO PREVENTIVO CADA 6 MESES.</li> <li>• ENERGIA ELECTRICA A 60 Hz. Y 220 V.</li> <li>• VIDA DE SUS COMPONENTES NO MENOR A 5 AÑOS (USO DIARIO).</li> <li>• FACILIDAD PARA TRANSPORTARSE DENTRO DE LAS INSTALACIONES.</li> <li>• DEBERA SER OPERADA POR UNA SOLA PERSONA.</li> <li>• NO REBASE LOS 70 Db. DE RUIDO AL SER OPERADA.</li> <li>• SISTEMA DE VACIADO MANUAL.</li> <li>• CUENTE CON SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.</li> <li>• LOS LUBRICANTES NO ESTEN EN CONTACTO CON EL PRODUCTO.</li> <li>• SEA ERGONOMICA.</li> </ul>	X X X X X X X X X X X	       X X  X
<p>➤ <b>APARIENCIA:</b> SUPERFICIES: EXTERNAS PINTADAS</p>		X
<p>➤ <b>MANUFACTURA EN LOTES PEQUEÑOS:</b> PRECIO: ENTRE \$ 4,000.00 Y 6,000.00 PESOS.</p>	X	
<p>➤ <b>COMPONENTES :</b> LA HERRAMIENTA Y MAQUINARIA NECESARIA PARA SU FABRICACIÓN DEBERAN ESTAR EN EL TERRITORIO NACIONAL. TODAS LAS PARTES COMERCIALES SERAN DE FACIL ADQUISICIÓN EN EL AREA METROPOLITANA.</p>		X  X

**Tabla 5.1**  
**"Especificaciones de diseño"**

## 5.2 CAJA NEGRA.

Para efectos de diseño, se hace un bosquejo donde se ilustran las entradas al sistema (en donde no se han determinado los procesos a seguir para obtener el producto) y las salidas del sistema. A este concepto se le llama caja negra. En la Fig. 5.2 se muestra el diagrama que aplica el diseño de la máquina, ilustrando que a la entrada del sistema se tienen los polímeros termoplásticos (HDPE, LDPE, PP, etc.), y a la salida se debe obtener el polímero triturado y granulado.



Fig. 5.2  
"Caja Negra"

## 5.4 PROCESO TÉCNICO

Después de estudiar y consultar tanto a las empresas que se dedican a la industria de procesamiento de plásticos como con los fabricantes de maquinaria para la transformación de polímeros, se llega a la conclusión, que el mejor proceso para triturar plásticos, es donde se agregan los plásticos, durante el proceso de molienda, para alcanzar el volumen y las dimensiones deseadas. La Fig.5.3 muestra el proceso.

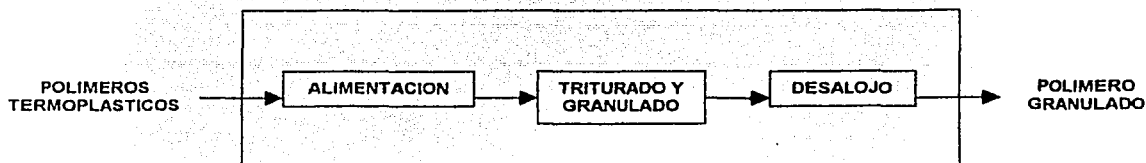


Fig. 5.3  
"Proceso técnico"

## 5.5 SISTEMAS FUNCIONALES

Los sistemas funcionales describen el conjunto de operaciones a seguir por el operador o por la máquina para llevar a cabo el proceso, el cual se muestra en la Fig. 5.4.

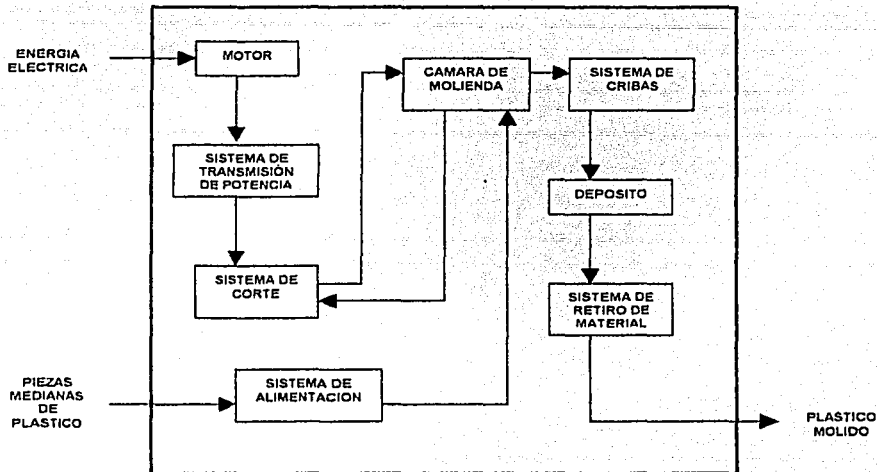


Fig. 5.4  
"Diagrama Funcional"

### Descripción de sistemas:

**Sistema de alimentación de material termoplástico:** Sistema por el cual se alimentan los materiales termoplásticos (PP, HDPE, LDPE, etc.) según sea el caso.

**Sistema de cámara de molienda:** Este sistema tiene como fin, confinar el material para poder realizar la operación de triturado.

**Sistema de corte:** Tiene la función de realizar la trituración del material plástico.

**Sistema de Cribas:** Tiene la función de homogenizar el tamaño y forma del material plástico.

**Sistema de depósito:** tiene la función de alojar el sistema de retiro de material.

**Sistema de retiro de material:** Consiste en un dispositivo de funcionamiento simple para desalojar el material ya molido.

**Sistema de transmisión de potencia:** Este sistema es el encargado de generar y transmitir movimiento y potencia al sistema de corte.

A continuación para cada una de las operaciones a efectuar según el diagrama funcional (Fig. 5.4), se proponen una serie de principios de acción y mecanismos que se colocan en la "Matriz Morfológica" mostrada en la Fig. 5.5. Los principios se evaluarán de acuerdo a los siguientes criterios:

- **Simplicidad en formas y partes:** Describe la complejidad de la configuración de la parte o partes en el sentido estrictamente funcional y geométrico.
- **Facilidad de operación:** Describe la complejidad operacional del objeto.
- **Volúmen ocupado:** Cantidad de espacio necesario en la máquina.
- **Costo:** Se refiere a la cantidad invertida ya sea para adquirirlo o fabricarlo si no existe comercialmente.
- **Limpieza:** Describe la facilidad de limpiar los componentes de la máquina.
- **Costo de mantenimiento:** La simplicidad de partes y fácil adquisición comercial de refacciones determinan este criterio.
- **Eficiencia de transmisión:** Califica la eficiencia con la que se transmite la potencia desde la fuente motriz.
- **Cantidad de componentes:** Califica el número de piezas con que cuenta algún mecanismo afectando la complejidad del mismo.



- **Nivel de ruido:** Determina si el mecanismo rebasa o se queda por abajo del límite de ruido admisible para el ser humano.
- **Confiabilidad:** Califica la certidumbre en cuanto estabilidad y funcionamiento del mecanismo.
- **Equipo adicional:** Requerimiento de piezas y mecanismos adicionales para su funcionamiento.
- **Seguridad:** Criterio que califica el alto o bajo riesgo que representan para el usuario operar el mecanismo.
- **Complejidad:** Nivel de complejidad en cuanto a la adquisición o fabricación de las piezas.

Los criterios anteriores no aplican a todos los sistemas, dadas las características peculiares de cada uno de ellos; por lo tanto, la tabla 5.2 señala los criterios empleados para evaluar cada sistema.

SISTEMAS	PRINCIPIO DE ACCION (PA)/MECANISMOS (M)					
	PA	MANUAL			AUTOMATICOS	
1.- ALIMENTACION	MECANISMOS	 TOLVAS AM1	 CARGA DIRECTA AM2	 DISP. DE VOLTEO AM3	 DOSIFICADOR DE BANDA AA1	 DOSIFICADOR DE COMPUERTA ELECTROMAGNETICA AA2
2.- CAMARA DE MOLIENDA	PA	HORIZONTAL			VERTICAL	
	CONTENEDORES	 FONDO CILINDRICO CH1	 RECTANGULAR CH2	 TRAPESOIDAL CH3	 CILINDRICO CV1	 ESFERICO CV2
3.- CORTE	PA	HORIZONTAL			VERTICAL	
	MOTORES	 CUCHILLAS HELICOIDALES COH1	 ROTOR CON MARTILLOS COH2	 CUCHILLAS ESCALONADAS COH3	 ASPAS COV1	 RODILLOS DENTADOS COV2
4.- CRIBAS	PA	HORIZONTAL			VERTICAL	
	MECANISMOS	 ROLADA 1/2 CARA CRH1	 PLANA CRH2	 ESFERICA CRH3	 CILINDRICA CRV1	
5.- DEPOSITO	PA	HORIZONTAL		VERTICAL		
	CONTENEDORES	 RECTANGULAR DH1	 TINAJA DV1	 TRAPESOIDAL DV2	 CILINDRICO DV3	
6.- RETIRO DE MATERIAL	PA	MANUAL		AUTOMATICOS		
	MECANISMOS	 CAJON RM1	 RAMPA RM2	 ASPIRADORA RA1	 BANDA TRANSPORTADORA RA2	
7.- TRANSMISION DE POTENCIA	PA	MECANICO			HIDRAULICO	ELECTRICO
	MECANISMOS	 TREN DE ENGRANES T1	 POLEAS Y BANDAS T2	 CATARINA Y CADENA T3	 REDUCTOR HIDRAULICO T4	 REDUCTOR POR VARIACION DE FRECUENCIA T5

Fig. 5.5 "Matriz Morfológica"

Sistema / Criterios	Alimentación (1)	Cámara de molinenda (2)	Corte (3)	Cribas (4)	Deposito (5)	Desalojo (6)	Transmisión (7)
Simplicidad en formas y partes	X	X	X		X	X	
Facilidad de operación	X					X	
Volumen ocupado	X	X		X	X	X	X
Limpieza	X	X			X		
Costo	X	X	X	X	X	X	X
Costo de mantenimiento		X	X	X			X
Eficiencia de transmisión							X
Cantidad de componentes		X	X				X
Confiabilidad		X	X	X			X
Equipo adicional	X					X	
Nivel de ruido	X	X					X
Seguridad	X		X			X	X
Complejidad				X			

**Tabla 5.2**  
**"Criterios empleados para cada sistema"**

Las calificaciones de estos criterios van en una escala del 1 al 5 definidos de la siguiente forma:

- 5 = Excelente
- 4 = Bueno
- 3 = Regular
- 2 = Malo
- 1 = Muy malo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Mediante estos criterios se evaluaron los diferentes sistemas. Las tablas 5.3 a la 5.9 muestran las matrices de decisión con los criterios empleados para cada sistema así como las calificaciones finales para cada mecanismo o principio de funcionamiento. Las variantes de concepto en cada una de las tablas, se distinguen por una clave que corresponde a la asignada en la matriz morfológica; así por ejemplo, en la tabla 5.3 se tiene la opción AM1 que corresponde al sistema de alimentación (A), mecanismo manual (M) y al número secuencial asignado(1), o en la tabla 5.8 se tiene la opción RA1 que corresponde al sistema de Retiro (R), un mecanismo automático (A) y el número secuencial (1).

### 1.- SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

CRITERIO	VARIANTE DEL CONCEPTO					
	AM1	AM2	AM3	AA1	AA2	IDEAL
COSTO	4	5	3	2	1	5
LIMPIEZA	4	5	4	3	2	5
SIMPLICIDAD DE FORMAS Y PARTES	5	5	3	2	1	5
FACILIDAD DE OPERACIÓN	5	1	4	4	5	5
COMPLEJIDAD	4	5	2	1	1	5
EQUIPO ADICIONAL	4	5	3	2	1	5
VOLUMEN OCUPADO	4	5	3	2	1	5
SUMA	30	31	22	16	12	35
CALOR RELATIVO DE X	<u>0.86</u>	<u>0.88</u>	0.63	0.46	0.34	1

Tabla 5.3

“Matriz de decisión para la alimentación”

AM1: Tolvas  
 AM2: Carga directa  
 AM3: Disp. de volteo  
 AA1: Dosificador de banda  
 AA2: Dosificador de compuerta electromagnética

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## 2.- SISTEMA CAMARA DE MOLIENDA

CRITERIO	VARIANTE DEL CONCEPTO						
	CH1	CH2	CH3	CV1	CV2	CV3	IDEAL
COSTO	3	5	1	4	2	1	5
LIMPIEZA	3	4	1	3	4	2	5
VOLUMEN OCUPADO	3	5	1	4	2	2	5
SIMPLICIDAD DE FORMAS Y PARTES	2	5	1	3	2	1	5
SUMA	11	19	4	14	10	6	20
VALOR RELATIVO DE X	0.55	<u>0.95</u>	0.2	<u>0.7</u>	0.5	0.3	1

Tabla 5.4

“Matriz de decisión para la cámara de molienda”

CH1: Fondo Cilíndrico  
 CH2: Rectangular Horizontal  
 CH3: Trapezoidal  
 CV1: Cilíndrico  
 CV2: Esférico Vertical  
 CV3: Cónico

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

### 3.- SISTEMA DE CORTE

CRITERIO	VARIANTE DEL CONCEPTO					
	COH1	COH2	COH3	COV1	COV2	IDEAL
COSTO	2	3	4	3	2	5
COSTO DE MANTENIMIENTO	2	3	4	4	2	5
LIMPIEZA	2	4	5	2	1	5
SIMPLICIDAD DE FORMAS Y PARTES	1	3	4	2	2	5
SUMA	7	13	17	11	7	20
VALOR RELATIVO DE X	0.35	<u>0.65</u>	<u>0.85</u>	0.55	0.35	1

Tabla 5.5

“Matriz de decisión para el sistema de corte”

COH1: Cuchillas helicoidales  
 COH2: Rotor con martillos  
 COH3: Cuchillas escalonadas  
 COV1: Aspas  
 COV2: Rodillos dentados

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

#### 4.- SISTEMA DE CRIBAS

CRITERIO	VARIANTE DEL CONCEPTO				
	CRH1	CRH2	CRH3	CRV1	IDEAL
COSTO	4	5	1	2	5
LIMPIEZA	4	4	3	2	5
VOLUMEN OCUPADO	4	5	2	1	5
SIMPLICIDAD DE FORMAS Y PARTES	4	5	1	2	5
SUMA	16	19	7	7	20
VALOR RELATIVO DE X	<u>0.8</u>	<u>0.95</u>	0.35	0.35	1

Tabla 5.6

“Matriz de decisión para las cribas”

CRH1: Rolada ½ caña

CRH2: Plana

CRH3: Esférica

CRV1: Cilíndrica

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 5.- SISTEMA DE DEPOSITO

CRITERIO	VARIANTE DEL CONCEPTO				
	DH1	DV1	DV2	DV3	IDEAL
COSTO	5	4	2	3	5
LIMPIEZA	4	3	2	3	5
VOLUMEN OCUPADO	5	3	2	2	5
SIMPLICIDAD DE FORMAS Y PARTES	5	4	1	3	5
SUMA	19	14	7	11	20
VALOR RELATIVO DE X	<u>0.95</u>	<u>0.7</u>	0.35	0.55	1

Tabla 5.7

“Matriz de decisión para el depósito”

DH1: Rectangular  
 DV1: Tinaja  
 DV2: Trapezoidal  
 DV3: Cilíndrico

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



## 6.- SISTEMA DE RETIRO DE MATERIAL

CRITERIO	VARIANTE DEL CONCEPTO				
	RM1	RM2	RA1	RA2	IDEAL
COSTO	5	3	1	2	5
LIMPIEZA	4	4	5	3	5
SIMPLICIDAD DE FORMAS Y PARTES	5	3	1	2	5
FACILIDAD DE OPERACIÓN	4	5	2	3	5
COMPLEJIDAD	5	3	1	2	5
EQUIPO ADICIONAL	5	3	1	2	5
VOLUMEN OCUPADO	5	2	1	2	5
SUMA	33	23	12	16	35
VALOR RELATIVO DE X	<u>0.94</u>	<u>0.66</u>	0.34	0.46	1

**Tabla 5.8**  
**“Matriz de decisión para el retiro de material”**

RM1: Cajón  
 RM2: Rampa  
 RA1: Aspiradora  
 RA2: Banda transportadora

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

## 7.- SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

CRITERIO	VARIANTE DEL CONCEPTO					
	T1	T2	T3	T4	T5	IDEAL
COSTO	3	5	4	2	1	5
COSTO DE MANTENIMIENTO	4	5	3	2	1	5
EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN	5	4	4	3	3	5
VOLUMEN OCUPADO	4	4	3	5	5	5
CANTIDAD DE COMPONENTES	3	5	3	1	1	5
NIVEL DE RUIDO	2	4	1	5	5	5
CONFIABILIDAD	4	4	2	3	3	5
SUMA	25	31	20	21	19	35
VALOR RELATIVO DE X	<u>0.71</u>	<u>0.88</u>	0.57	0.6	0.54	1

Tabla 5.9

"Matriz de decisión para la transmisión de potencia"

- T1: Tren de engranes
- T2: Poleas y bandas
- T3: Catarina y cadena
- T4: Reductor hidráulico
- T5: Reductor por variación de frecuencia

## 5.6 GENERACION DE CONCEPTOS

Después de evaluar los mecanismos o principios, se buscan las opciones con mejor calificación de cada sistema funcional, exceptuando el sistema de corte que se considera en la siguiente etapa (diseño de detalle) con ellos se forman arreglos, a cada uno de ellos se les llama concepto. Estos a su vez se califican mediante criterios de conjunto, una vez determinado el mejor, se concluye la fase de diseño conceptual. La figura 5.6 muestra la generación de conceptos a partir de la matriz morfológica y las calificaciones otorgadas en la sección anterior.

El sistema de corte es la parte esencial del proceso de trituración de plástico y del diseño de la máquina, dado que requiere una valoración por medio de pruebas físicas. El concepto definido hasta el momento, es un bosquejo de la forma exterior de la máquina trituradora; es decir, se determinan como sistemas externos la alimentación, la cámara de molienda (en su parte exterior), el depósito, la transmisión y el retiro de material, y como interno el sistema de cribas y corte. Con los externos se agregaron 4 conceptos Fig. 5.7 a la 5.10, los cuales se calificaron bajo los siguientes criterios.

- **Facilidad de ensamble.-** Facilidad para armar en conjunto.
- **Simplicidad de formas y partes.-** Describe la complejidad de la configuración de la parte o partes en el sentido estrictamente funcional y geométrico.
- **Costo.-** Se refiere a la cantidad invertida ya sea para adquirirlo o fabricarlo si no existe comercialmente.
- **Cantidad de componentes.-** Califica el número de piezas con que cuenta este mecanismo afectando la complejidad del mismo.
- **Volúmen ocupado.-** Cantidad de espacio necesario en la máquina.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

SISTEMAS	PRINCIPIO DE ACCION (PA)/MECANISMOS (M)					
	PA	MANUAL			AUTOMATICOS	
1.- ALIMENTACION	MECANISMOS	 TOLVAS AM1	 CAMARA DE MOLIENDA CARGA DIRECTA AM2	 CAMARA DE MOLIENDA DISP. DE VOLTEO AM3	 CAMARA DE MOLIENDA DISPOSITADOR DE BANDA AM4	 CAMARA DE MOLIENDA DISPOSITADOR DE COMPUERTA ELECTROMAGNETICA AM5
2.- CAMARA DE MOLIENDA	PA	HORIZONTAL			VERTICAL	
	CONTENEDORES	 FONDO CILINDRICO CH1	 RECTANGULAR CH2	 TRAPEZOIDAL CH3	 CILINDRICO CV1	 ESFERICO CV2
3.- CORTE	PA	HORIZONTAL			VERTICAL	
	RETORCES	 CUCHILLAS HELICOIDALES COH1	 ROTOR CON MARTILLOS COH2	 CUCHILLAS ESCALONADAS COH3	 ASPAS COV1	 RODILLOS DENTADOS COV2
4.- CRIBAS	PA	HORIZONTAL			VERTICAL	
	MECANISMOS	 ROLADA 1/2 CARA CRH1	 PLANA CRH2	 ESFERICA CRH3	 CILINDRICA CRV1	CONCEPTO 1 ——— CONCEPTO 2 ——— CONCEPTO 3 ——— CONCEPTO 4 - - -
5.- DEPOSITO	PA	HORIZONTAL			VERTICAL	
	CONTENEDORES	 RECTANGULAR DH1	 TINAJA DV1	 TRAPEZOIDAL DV2	 CILINDRICO DV3	
6.- RETIRO DE MATERIAL	PA	MANUAL			AUTOMATICOS	
	MECANISMOS	 CAJON RM1	 RAMPA RM2	 ASPIRADORA RA1	 BANDA TRANSPORTADORA RA2	
7.- TRANSMISION DE POTENCIA	PA	MECANICO			HIDRAULICO	ELECTRICO
	MECANISMOS	 TREN DE ENGRANES T1	 POLEAS Y BANDAS T2	 CATARINA Y CADENA T3	 REDUCTOR HIDRAULICO T4	 REDUCTOR POR VARIACION DE FRECUENCIA T5

Fig. 5.6 "Generación de conceptos a partir de la matriz morfológica"

Concepto 1	————
Concepto 2	———/———
Concepto 3	————
Concepto 4	-----

Se usará la misma escala de clasificación que en los sistemas funcionales.

- 5 = Excelente
- 4 = Bueno
- 3 = Regular
- 2 = Malo
- 1 = Muy malo

Las figuras 5.7 a la 5.10 muestran los conceptos generales para los sistemas exteriores y la descripción de cada uno de ellos, la tabla 5.10, muestra las calificaciones para cada concepto. De esta forma se observa que el concepto 1 resulta con mejor calificación que los demás y será el utilizado para la propuesta de diseño de la máquina trituradora de plásticos.

### Concepto 1

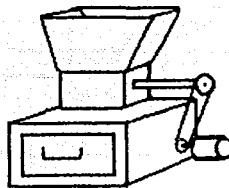


Fig. 5.7 "concepto 1"

Código: AM1-CH2-DH1-RM1-T2

La alimentación es por medio de una tolva, la cámara de molienda es rectangular al igual que el depósito, el retiro del material es por cajón y la transmisión de potencia es por banda y poleas.

## Concepto 2

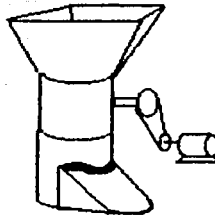


Fig. 5.8 "concepto 2"

Código: AM1-CV1-DV3-RM2-T2

La alimentación es por medio de una tolva, la cámara de molienda es cilíndrica al igual que el depósito, el retiro de material se realiza por medio de una rampa y la transmisión de potencia se realiza por banda y poleas.

## Concepto 3

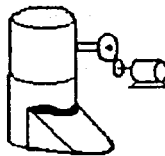


Fig. 5.9 "concepto 3"

Código: AM2-CV1-DV3-RM2-T1

La alimentación es directa, la cámara de molienda es cilíndrica al igual que el depósito, el retiro de material es por medio de una rampa y la transmisión de potencia la realiza un tren de engranes.

## Concepto 4

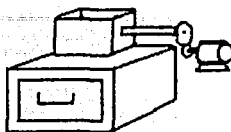


Fig. 5.10 "concepto 4"

Código: AM2-CH2-DH1-RM1-T1

La alimentación es directa, la cámara de molienda es rectangular al igual que el depósito, el retiro del material es por cajón y la transmisión de potencia, la realiza un tren de engranes.

Criterios	Concepto final				
	1	2	3	4	Ideal
Facilidad de ensamble	5	4	4	5	5
Simplicidad en formas y partes	5	4	4	5	5
Costo	5	4	4	5	5
Cantidad de componentes	5	4	4	5	5
Volumen ocupado	5	3	2	4	5
Suma	25	19	18	24	25
Valor relativo de X	1	0.76	0.72	0.96	1

Tabla 5.10  
"Matriz de decisión de conceptos"

El concepto mejor calificado fue el uno, un arreglo formado por una tolva para alimentación, una cámara de molienda rectangular horizontal, un depósito también rectangular y el retiro del material se hará por medio de un cajón, la transmisión de potencia se realizará por medio de poleas y banda. Con este resultado se procede a la etapa de diseño de detalle, en donde se realizarán los cálculos pertinentes, para poder determinar los valores de las variables de interés que intervienen en el funcionamiento del concepto mejor calificado resultado de este capítulo (tabla 5.10). La selección del rotor propuesto a fabricar se hace sobre la base de los resultados de la tabla 5.5.



# **CAPITULO 6**

## **DISEÑO DE DETALLE**

En el capítulo 5 se obtuvo como resultado un concepto global que es la combinación de los sistemas de alimentación, cámara de molienda, depósito, desalojo y transmisión. Tomando esto como base se propone la construcción de la máquina, y así poder evaluar su funcionamiento.

Una de las principales preocupaciones que surge cuando se diseña una máquina, es el comportamiento de los sistemas con los que cuenta por este motivo, es necesario realizar una serie de cálculos para determinar las variables que intervienen en el problema y así poder diseñar el sistema a utilizar, finalmente se fabrican dichos sistemas y así configurar la máquina completa que resultará de este trabajo de tesis.

De acuerdo a la investigación realizada en el capítulo 4, el tipo de rotor que satisface nuestras necesidades, es el denominado tipo A, ésta selección se debe al tipo y forma del material a triturar.

Como ya se vio anteriormente, el rango de velocidad para los rotores denominados tipo A, oscila entre los 400 y 600 rpm, estas velocidades son relativamente bajas, puesto que el rotor debe de tener tiempo suficientemente para que el material se introduzca entre las cuchillas y poder ser triturado, de lo contrario, mientras más se aumenta la velocidad del rotor, este tiempo del que se habla, se reduce y por lo tanto el rotor pareciera que se comporta como un sólido de revolución. Para los cálculos de nuestro diseño, proponemos una velocidad para el rotor de 550 rpm, valor que se encuentra dentro del rango de los rotores tipo A.

Otros datos importantes para la realización de los cálculos, se muestran en la tabla 6.1, son los valores de resistencia al impacto de los materiales termoplásticos a triturar.

Material	Resistencia al impacto [N]
Polietileno de alta densidad (HDPE)	160
Polipropileno (PP)	37
Poliestireno (PS)	24

Tabla 6.1  
"valores de resistencia al impacto"

## CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

La potencia del motor, la consideramos como la potencia transmitida por la flecha con (rpm) constantes, y se puede deducir de la definición básica de potencia como la tasa de realizar trabajo. Así.

$$P = Fv = \frac{T}{r} v = T\omega \quad (6.1)$$

usando  $T = F \times r$ , donde  $F$  es la fuerza,  $r$  es el radio de corte y  $\omega$  la velocidad angular de la flecha, como:

$$\omega = 2\pi n \quad (6.2)$$

la cual relaciona la velocidad angular con las rpm, y por tanto la potencia se puede escribir como:

$$P = 2\pi T n \quad (6.3)$$

En el sistema internacional de unidades la ecuación (6.3) se convierte en:

$$P = \frac{2\pi T n}{60} 10^{-6} [kW]$$

$$P = \frac{\pi T n}{30} 10^{-6} \cong \frac{T n}{9.55} 10^{-6} [kW] \quad (6.4)$$

Donde  $H_p$  es la potencia transmitida por un par  $T$  en (N mm), que impulsa una flecha que gira a  $n$  revoluciones por minuto (rpm).

Tomando el valor más alto de resistencia al impacto, para asegurar la fractura de cualquiera de los materiales.

$$T = F \times r = (160 N)(34 mm) = 5440 N mm$$

$$\omega = 2 \pi n = 2 \pi (550) = 3455.75 \text{ s}^{-1}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (6.4) se obtiene la potencia transmitida a la flecha:

$$P = \frac{2\pi r l'}{60} 10^{-6} = \frac{(3455.75)(5440)}{60} 10^{-6} = 0.3133 \text{ kW}$$

En el sistema ingles de unidades resulta:

$$P = (0.3133 \text{ kW}) \left( \frac{1.3410 \text{ hp}}{1 \text{ kW}} \right) = 0.420 \text{ Hp}$$

Del catálogo [2], el motor que más se aproxima es un motor trifásico, jaula de ardilla de 0.5 Hp (373 Watts), de cuatro polos con velocidad nominal de 1720 rpm.

#### CALCULO DE POLEAS Y BANDA

De la tabla 3 [3], hallamos el diámetro mínimo de polea para un motor de las características anteriormente mencionadas.

$$d = 2.5 \text{ in}$$

De la tabla 2 [4], el factor de servicio para el motor, según sea su aplicación es 1.5, por lo cual la potencia para el diseño de las poleas es

$$Potencia_{diseño} = Potencia_{requerida} \times factor \ de \ servicio = 0.420 \times 1.5 = 0.63 \text{ Hp} \quad (6.5)$$

En la gráfica para la sección de banda [5], debajo del encabezado 0.63 Hp y con velocidad angular de 1720 rpm, se encuentra la intersección dentro de la región de las bandas tipo A.

A partir de la tabla 12.5.3 [6], el diámetro de paso de la polea menor es  $d'$

$$d' = 2.5 - 0.268 = 2.232 \text{ in}$$

Como la relación de velocidades es a partir de:

$$d' \omega_1 = D \omega_2 \quad (6.6)$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D}{d'}$$

Sustituyendo valores en la expresión (6.6) se tiene:

$$\frac{1720}{550} = 3.127 = \frac{D}{2.232}$$

$$D = 2.232 (3.127) = 6.98 \approx 7 \text{ in} = 17.78 \text{ cm}$$

Del catálogo [7], se procede a seleccionar las poleas requeridas para el proyecto:

La polea  $P_a$  de 2.5 pulgadas, para el eje de motor, se selecciona la número 1A6-35

La polea  $P_b$  de 7 pulgadas, para el eje del rotor, se selecciona la número 1A17-78

De la tabla 17.14 [8], con los datos de potencia y velocidad angular de la polea pequeña, se propone una banda tipo A (tipo 4L según catálogo Dodge [9]), de dimensiones en su sección transversal  $b \times t = \frac{1}{2} \times 5/16$ .

La longitud de la banda se determina basándose con la siguiente ecuación:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D+d) + \frac{(D+d)^2}{4C} \quad (6.7)$$

donde C representa la distancia entre centros de la flechas, D y d, los diámetros externos de las poleas grande y pequeña respectivamente.

La distancia entre centros C, se recomienda que sea del orden del diámetro de la polea mayor, es decir  $C = D = 7$  in.

Sustituyendo valores en la expresión (6.7), se tiene:

$$L = 2 \times 7 + \frac{\pi}{2} (7 + 2.5) + \frac{(7 - 2.5)^2}{4 \times 7} = 29.64 \text{ in}$$

La longitud de 29.64 pulgadas, no es comercial y como una condición necesaria en el diseño era que todas las piezas tienen que ser comerciales, se empleará una banda de 30 pulgadas, la cual si es comercial, del catálogo [9], la banda que cumple con esta longitud es la 4L300.

Dado que la banda seleccionada es ligeramente mayor en su longitud, será necesario calcular la distancia entre centros a la cual se instalarán ambas flechas.

Despejando de la ecuación (6.7) a C se tiene

$$C = \frac{1}{4} \left( L - \pi \frac{D+d}{2} \right) \left\langle 1 + \left[ 1 - \frac{2(D-d)^2}{\left( L - \pi \frac{D+d}{2} \right)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \right\rangle \quad (6.8)$$

Sustituyendo valores en la expresión (6.8) se tiene

$$C = \frac{1}{4} (15.077) \left\langle 1 + \left[ 1 - \frac{40.5}{(15.077)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \right\rangle = 7.186 \text{ in}$$

## CALCULO DE LA FLECHA

Para la flecha se calcularan los diámetros necesarios para soportar sin deformarse, la figura 6.1. muestra la configuración de la flecha.

El momento de torsión transmitido a la flecha se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$M_t = \frac{71620 \cdot P}{N} \quad (6.9)$$

donde :

$M_t$  es el momento de torsión

P es la potencia transmitida en Hp

N es la velocidad angular del eje en rpm

De la figura 6.1 se calcula el momento de torsión que actúa sobre la polea, en función de la potencia transmitida, aplicando la ecuación 6.9 se tiene:

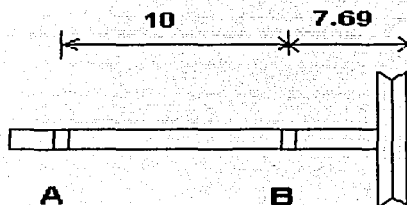


Fig. 6.1

“Configuración de la flecha del rotor”

$$M_t = \frac{0.5 \times 71620}{550} = 65.109 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Por otro lado se sabe que :

$$M_t = (F_1 - F_2) * R_p \tag{6.10}$$

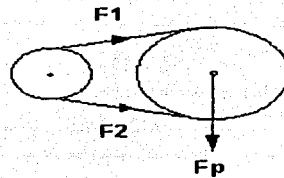


Fig. 6.2 "Diagrama de las poleas"

donde:

$F_1$  = Fuerza en el lado tenso de la banda

$F_2$  = Fuerza en el lado flojo de la banda

$R_p$  = Radio de la polea ( $R_p = 8.89 \text{ cm}$ )

Asumiendo que:

$$F_2 = \frac{1}{3}(F_1) \tag{6.11}$$

Sustituyendo la expresión 6.11 en la 6.10 se tiene:

$$M_t = \left[ F_1 - \frac{1}{3}(F_1) \right] * R_p = \left[ \frac{2}{3}(F_1) \right] * R_p$$



Despejando  $F_1$  de la expresión anterior se tiene:

$$F_1 = \frac{2}{3} \left( \frac{M_1}{R_p} \right) \quad (6.12)$$

Sustituyendo valores en la ecuación 6.12 se tiene:

$$F_1 = \frac{2}{3} \left( \frac{65.109}{8.89} \right) = 4.8825 \text{ kg}$$

Así que la fuerza que actúa hacia abajo en la polea es igual a:

$$F_p = F_1 + F_2$$

$$F_p = F_1 + \frac{1}{3}(F_1) = 4.8825 + \frac{1}{3}(4.8825) = 6.51 \text{ kg}$$

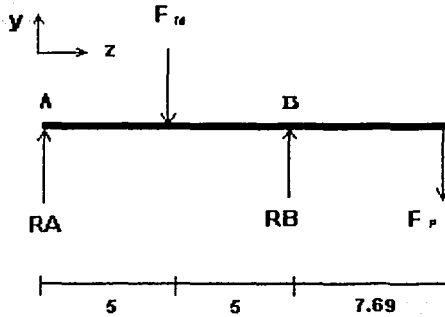
Considerando que la polea seleccionada pesa 0.74 kg, según catálogo [7]

$$F_p = 6.51 + 0.74 = 7.21 \text{ kg}$$

Para determinar la fuerza necesaria para fracturar el material de trabajo, se toma el valor más alto de la tabla 6.1, el cual es de 160 N = 16.3 kg. Si este valor se considera como una carga distribuida a lo largo de los 10 cm que mide el rotor, puede sustituirse por una sola fuerza como:

$$F_M = 16.3 \text{ Kg./cm} \times 10 \text{ cm} = 163 \text{ kg}$$

De acuerdo a la figura 6.2, se calculan las reacciones en los puntos A y B para poder trazar los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes.



**Fig 6.3**  
**"Diagrama de cuerpo libre en el plano vertical"**

Haciendo suma de momentos con respecto al punto A e igualando a cero:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-163 ( 5 ) + R_B ( 10 ) - 7.21 ( 17.69 ) = 0$$

$$R_B = \frac{942.54}{10} = 94.25 \text{ kg}$$

En Y:

Realizando la suma de fuerzas con respecto a Y e igualando a cero:

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$R_A - 163 + R_B - 7.21 = 0$$

$$R_A - 163 + 94.25 - 7.21 = 0$$

$$R_A = 75.96 \text{ kg}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En X:

En el plano horizontal (Figura 6.4) sólo se considera la fuerza tangencial que crea el rotor, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$F_i = \frac{(M_i)}{(R_{rotor})} \quad (6.13)$$

Según la configuración geométrica, se propone un diámetro del rotor de 6.8 cm, sustituyendo valores en la ecuación 6.13 se tiene:

$$F_i = \frac{65.109}{3.4} = 19.149 \text{ kg}$$

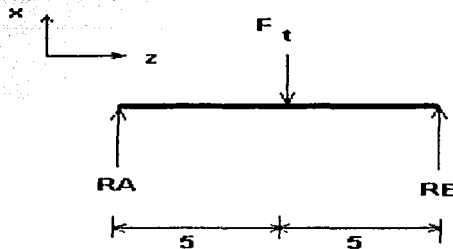


Fig. 6.4

"Diagrama de cuerpo libre en el plano horizontal"

Haciendo suma de momentos con respecto al punto A e igualando a cero:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-19.149 (5) + R_B (10) = 0$$

$$R_B = 9.574 \text{ kg}$$

Realizando la suma de fuerzas con respecto a X e igualando a cero:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_A - 19.149 + R_B = 0$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$R_A = 19.149 - 9.574$$

$$R_A = 9.575 \text{ kg}$$

En Y:

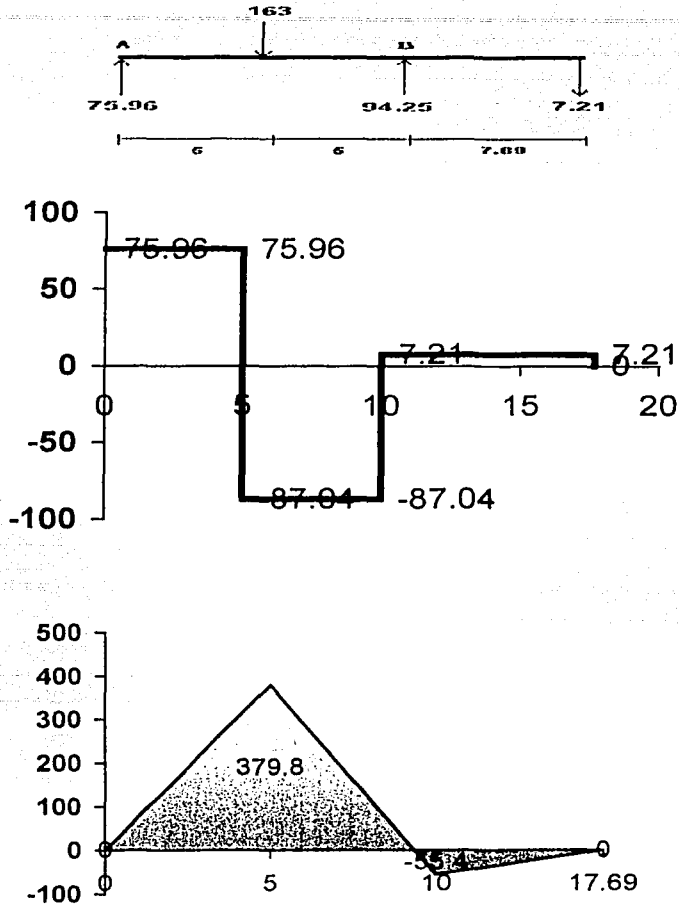


Figura 6.5

“Diagrama de cuerpo libre, esfuerzo cortante y momento flector en el plano vertical.”

En X:

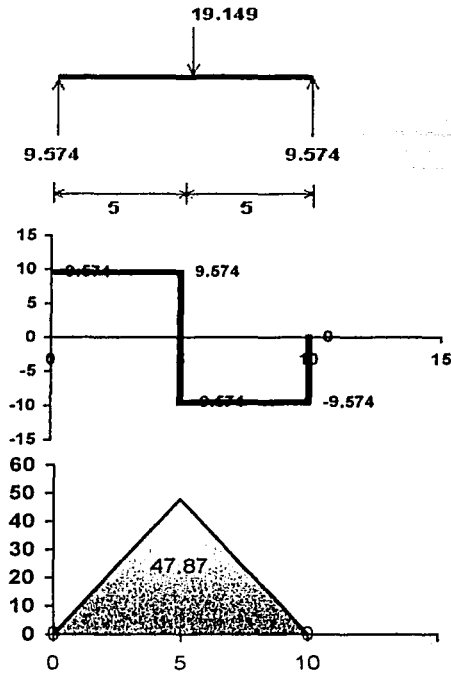


Fig.6.6

“Diagrama de cuerpo libre, esfuerzo cortante y momento flector en el plano horizontal.”

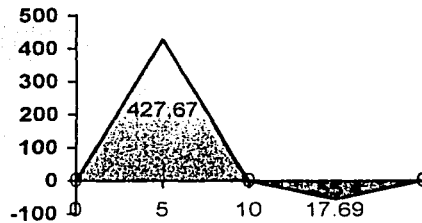


Fig. 6.7

“Suma de momentos flectores”

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Así para calcular el diámetro de la flecha se utiliza la ecuación 6.14 propuesta por las normas AISI – ASME.

Dicha ecuación es la siguiente:

$$\frac{1}{F.S} = \left[ \left( \frac{32}{\pi D^3} \right) \left( \left( \frac{K_t * M}{\sigma_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{M_t}{\sigma_f} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (6.14)$$

Donde:

$K_t$  = Factor de concentración de esfuerzo.

$M$  = Momento flector.

$M_t$  = Momento torcionante.

$\sigma_e$  = Resistencia a la fatiga del material.

$\sigma_f$  = Resistencia a la fluencia del material

Utilizando los siguientes valores de [10]

$F.S = 3$ , asumiendo condiciones de impacto moderado.

$K_t = 2$

$\sigma_f = 8088 \text{ kg./cm}^2$ , (Acero 1040, extruido en frío).

$\sigma_{\text{máx.}} = 9140 \text{ kg./cm}^2$

Por otro lado, se tiene que:

$$\sigma_e = (0.5\sigma_{\text{máx.}}) * K_b * K_c \quad (6.15)$$

Donde:

$K_b$  = Factor de corrección por tamaño (igual a 0.85 para diámetros mayores a 0.8 cm).

$K_c$  = Factor de corrección por confiabilidad (igual a 0.814 para una confiabilidad del 99%).

Sustituyendo valores en la ecuación 6.15 se tiene:

$$\sigma_e = (0.5)(9140)(0.85)(0.814)$$

$$\sigma_e = 3161.98 \text{ Kg./ cm}^2$$

Así de esta manera se tienen todos los valores, los cuales se sustituyen en la ecuación 6.14, de modo que:

$$\frac{1}{3} = \left[ \left( \frac{32}{\pi D^3} \right) \left( \left( \frac{(2)(427.67)}{3161.98} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{65.109}{8088} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

$$\frac{1}{3} = \frac{32}{\pi D^3} (0.27059)$$

Despejando a D de la expresión, se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\left( \frac{(32)(3)}{\pi} (0.27059) \right)}$$

$$D = 2.022 \text{ cm} = 0.796 \text{ in} \approx 13/16 \text{ in}$$

Este diámetro no es comercial para el centro de poleas, por lo que se escoge el diámetro inmediato superior, el cual corresponde a 1 pulgada.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CONSTRUCCION Y PRUEBAS



Una vez realizada la memoria de cálculo, lo que procede es desarrollar la configuración final de cada una de las piezas que han de conformar la máquina antes de ser fabricadas. Para realizar esta tarea, fue necesario utilizar algunos métodos del Diseño Asistido por Computadora, con la ayuda del paquete Mechanical Desktop 4.0.

Esto resulta de gran utilidad, ya que se puede modelar cualquier pieza y ver su configuración en 3D antes de proceder a su manufactura, y más aun, podemos determinar valores importantes de dichas piezas de acuerdo al material con el que se modelen, el cual lo podemos asignar en el mismo paquete, algunos ejemplos de los valores que se pueden obtener son: la masa, densidad, ubicación del centro de masa, momentos de inercia, etc. Otra de las ventajas que nos brinda esta herramienta, es poder obtener planos en cualquiera de sus vistas, así como sus isométricos.

Lo de mayor trascendencia sobre el Diseño Asistido por Computadora por medio del paquete Mechanical Desktop 4.0, es la opción de hacer cálculos de elemento finito, los cuales nos proporcionan información de gran utilidad en relación a las piezas que van a estar sometidas a esfuerzos, ya que por una escala de colores, se indica sobre la pieza modelada las zonas de mayores esfuerzos o deformaciones.

En nuestro caso, los datos más importantes que obtuvimos, fueron en relación a las gráficas de deformación, tanto en cuchillas como en la flecha del rotor y de esa manera se observan las regiones y los valores en donde es mayor el problema, para así garantizar que ninguna de las piezas fabricadas van a estar sometidas a cargas que no se encuentren dentro del rango de resistencia.

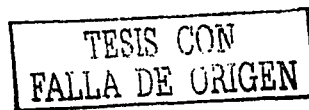
Los valores que se manejaron dentro del paquete, fueron previamente obtenidos mediante pruebas de laboratorio, las cuales fueron de resistencia el impacto de acuerdo a la norma ASTM D256 y de dureza es la ASTM D785, efectuadas a los distintos materiales con que va a trabajar la máquina, y dichos valores son los siguientes:

MATERIAL	RESISTENCIA AL IMPACTO [N]	DUREZA
Poliétileno de alta densidad	160	(*S) D60-70
Polipropileno	37	(**R) R80-105
Poliestireno	24	(**R) M65-90

\* S = Escala Shore D o A

\*\*R = Escala Rockwell M o R

Tabla 7 "Propiedades mecánicas de los polímeros"



Con los valores de dureza y de resistencia al impacto mas altos, se procedió a obtener el par que se requiere para realizar el corte del material, y de esa manera calcular la potencia del motor, los esfuerzos generados tanto en las cuchillas como en el rotor y todos los demás parámetros importantes para la realización adecuada de la máquina.

Por medio del paquete de computo, se realizaron cuatro configuraciones distintas del rotor, cada uno fue simulado de acuerdo al valor obtenido de la fuerza de corte necesaria para fracturar el material mas duro con un factor de seguridad adicional del 30% lo cual nos garantiza un optimo funcionamiento de rotor aún cuando se manejen materiales distintos (mas duros) a los que se pretendía manejar en un principio. Las configuraciones realizadas se fueron descartando al observar los resultados de dichas simulaciones, hasta obtener la forma y el diámetro adecuado de la flecha del rotor que nos soportará las condiciones antes mencionadas. La configuración que se obtuvo a través de la simulación fue una flecha de 22 [mm] de diámetro, sobre el cual hay tres bases de forma trapezoidal en cuyas partes planas se fijarán las cuchillas móviles, dichas bases tienen como objetivo principal, el aumentar el diámetro, para que en su conjunto el rotor tenga el diámetro de corte más adecuado (ver plano correspondiente a la flecha del rotor). Cabe hacer mención que el dato obtenido por medio de los cálculos realizados en el capítulo 6, es muy similar, ya que se obtuvo un diámetro de 20.22[mm], por lo que podemos garantizar que la falla por deformación o fatiga en el material del rotor no ocurrirá, siempre y cuando no se excedan las condiciones de uso ya mencionadas.

En relación a las cuchillas tanto móviles como fijas, se puede decir que se les realizo el mismo análisis y consideraciones de seguridad y resistencia que el rotor. Pero en este caso, el parámetro que variaba era el ángulo de ataque de las cuchillas, el cual se fue cambiando dentro de los rangos que los fabricantes (DYCOMET PAGANI) nos recomendaron, los cuales son: entre 20° y 30° para las cuchillas móviles y 70° y 85° para las cuchillas fijas. Se hicieron tres modelos para cada una de ellas, y el ángulo que mejor funciono para las condiciones de nuestro diseño es de 25° para las cuchillas móviles y el de 80° para las cuchillas fijas. Y como se mostró en el paquete así mismo funciono en la realidad, ya que se obtienen las moliendas de granos muy uniformes y de tamaños parecidos a los pelets de plástico virgen, condiciones que eran requeridas dentro del diseño conceptual.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Con respecto a las demás piezas que configuran el cuerpo de la máquina, solo se modelaron en 3D con diferentes materiales para obtener datos importantes como por ejemplo: su peso, centros de masa, momentos de inercia, resistencias mecánicas, etc.

Las piezas que conforman el cuerpo de la máquina sólo sirven de soporte para los distintos sistemas con que ésta cuenta, ya que no se efectúan sobre ellas esfuerzos excesivos y por lo tanto se seleccionaron los materiales más adecuados para cada una de ellas, tomando en cuenta que su costo fuera bajo, buena maquinabilidad y de buenas propiedades mecánicas, como: placa de acero 1020 de 1/2" para las paredes de la cámara de molienda, placa de 1/8" de acero 1010 para el sistema de depósito, y lámina negra calibre 20 para tolvas y cajón.

Con la información obtenida, se procedió a la manufactura de cada pieza de acuerdo a sus planos de fabricación y a los requerimientos de cada una de ellas. Para dicha tarea se utilizaron las máquinas herramientas con que se cuentan en los talleres y laboratorios de Ingeniería Mecánica.

Con todas las piezas ya maquinadas se procedió al ensamble y se realizaron las siguientes pruebas:

### ➤ CAPACIDAD

Se tomo 1 kg de los diferentes materiales utilizados en el laboratorio, y se alimento a la máquina con cada uno de ellos en forma independiente, la alimentación se realizo en forma gradual, con el fin de no sobrealimentar, ya que de no ser así, se puede llegar a atascar el rotor. Con una criba de perforaciones de 1/4", se obtuvieron los siguientes resultados:

MATERIAL	TIEMPO DE MOLIENDA [min]
Poliestireno de baja densidad	8.5
Polipropileno	10.5
Poliétileno cristal	12
Poliétileno de alta densidad	15.5
Acetal*	20

Tabla 8 "Tiempos de molienda de los polímeros"

\*Este material no se contemplo en el Diseño Conceptual, pero de igual forma se le hicieron las pruebas de corte, y la máquina si puedo molerlo pero en una mayor cantidad de tiempo.

## ➤ PRUEBAS ELECTRICAS

Otra prueba que se le hizo a la máquina es la de observar como es que varía la corriente durante el proceso de corte del material, y los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

MATERIAL	CORRIENTE MOTOR SIN CARGA [A]	CORRIENTE MOTOR CON CARGA [A]
Poliestireno de baja densidad	2.0	2.0
Polipropileno	2.0	2.1
Poliétileno cristal	2.0	2.2
Poliétileno de alta densidad	2.0	2.2
Acetal*	2.0	2.3

Tabla 9 "corrientes de operación"

Con estos resultados, podemos observar que aunque el motor se encuentre funcionando, solamente llega a 2.3 Amperes, que es la corriente nominal con la que trabaja el motor, por lo tanto sería muy difícil de que el motor llegara a quemarse. El voltaje durante el proceso de molienda, se mantuvo igual con cada uno de los diferentes materiales.

Una de las ventajas que se obtuvo de esta máquina en comparación con las ya existentes en el mercado, fue que al analizar el material ya molido, casi no se obtiene polvo de los plásticos molidos, ya que eso no es recomendable durante el proceso de inyección.

A continuación se muestran las graficas de deformaciones obtenidas en el paquete Mechanical Desktop 4.0.

Material:	
Steel SAE 1045	
Yield point: 344.74	
Result Deformation	
* JE-006 mm	
max	0.05903
	3.79412
	3.62916
	3.46419
	3.29923
	3.13427
	2.96931
	2.80435
	2.63939
	2.47442
	2.30946
	2.14450
	1.97954
	1.81459
	1.64962
	1.48466
	1.31969
	1.15473
	0.98977
	0.82481
	0.65985
	0.49489
	0.32992
	0.16496
	0.00000

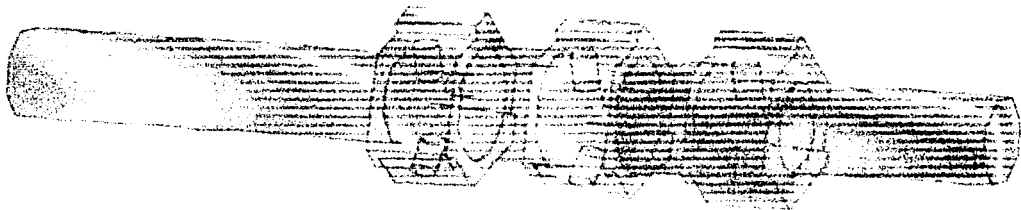
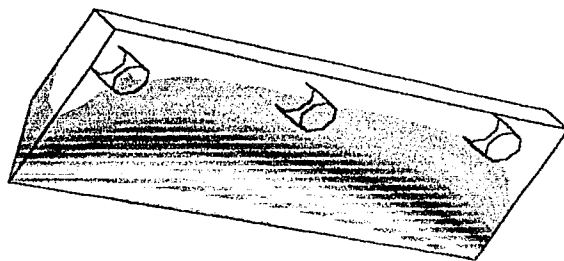


Fig. 7 " Diagrama de deformaciones en la flecha del rotor"


























Material:	
Acero D2	
Yield point: 558.47	
Result Deformation [mm]	
max	0.05710
	0.05472
	0.05234
	0.04996
	0.04758
	0.04521
	0.04283
	0.04045
	0.03807
	0.03569
	0.03331
	0.03093
	0.02855
	0.02617
	0.02379
	0.02141
	0.01903
	0.01665
	0.01428
	0.01190
	0.00952
	0.00714
	0.00476
	0.00238
mini	0.00000

Fig. 8 "Diagrama de deformaciones en la cuchilla móvil"

Para tener un estimado del costo de nuestra máquina, se elaboro una tabla de los materiales y sus precios, que se invirtieron en dicha elaboración.

Material	Precio [Pesos]
Placa de 1/8" acero 1020	\$80
Placa de 1/2" acero 1020	\$200
Lamina negra calibre 20	\$70
Tornillos grado 8	\$150
Cuchillas	\$300
Poleas	\$140
Banda	\$50
Motor	\$700
Estación de botones	\$135
Micro interruptor	\$30
Rodamientos	\$120
Instalación eléctrica	\$50
Ruedas	\$60
Resina poliéster	\$100
Pintura	\$100
Accesorios varios	\$100
<b>Total</b>	<b>\$2385</b>

Tabla 10 "costos de materiales"

**Nota: los precios corresponden al primer semestre del año 2003**

El costo comercial de la máquina mas pequeña producida por la marca DYCOMET PAGANI, es de \$14,000 M.N, por lo que el costo de nuestro diseño, está muy por debajo de cualquier maquina comercial.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CONCLUSIONES

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Durante el proceso de diseño, las distintas partes que conforman la máquina se proyectaron empleando el método de Hubka para sistemas mecánicos. La parte complementaria fue el diseño asistido por computadora, para determinar como se comportaría el rotor antes de ser maquinado. La simulación asistida por computadora, tiene muchas ventajas, ya que al no disponer de una simulación real, se puede determinar el comportamiento del rotor a un bajo costo. El rotor y las cuchillas que se emplearon resultaron en resumidas cuentas unos diseños mejorados a los que ya existen en el mercado.

En el diseño de esta máquina se emplearon diferentes recomendaciones desde las obtenidas a partir de los productores de plásticos, hasta los mismos fabricantes de trituradoras, ya que nos proporcionaron la información de cómo es que se lleva a cabo la selección de las cuchillas y rotores para los diferentes tipos de plásticos, sin dejar a un lado las asesorías de los ingenieros y técnicos de nuestra Facultad de Ingeniería.

De las observaciones realizadas a máquinas comerciales durante su funcionamiento, tomamos la decisión de modificar la forma del rotor, así como la forma de la cámara de molienda y se comprobó durante el funcionamiento que cumplió su objetivo de reducir el estancamiento de material, reduciendo el consumo de energía, y un mejor acabado del material.

También se pudo observar en las pruebas que se les realizaron a la máquina a plena carga, que debido al ángulo con la que se construyeron los dos tipos de cuchillas, casi no se genera polvo de plástico, que las corrientes de cada fase no superan a la corriente nominal del motor y que durante la operación no se registró ningún tipo de variación del voltaje, características que no se observan en otras máquinas que se encuentran en el mercado.

Otro problema que se resolvió muy apropiadamente, fue el ruido generado durante el proceso de molienda, ya que en el inicio de su fabricación, la tolva de alimentación al ser de lamina, era muy ruidosa y generaba 95 [db] de ruido, por lo que decidimos hacerle un recubrimiento con resina de poliéster para insonorizarla un poco, esto nos trajo un buen resultado, al reducir el ruido hasta un nivel de 72 [db], la norma permitida es de 80 [db] máximos para la operación de una máquina de este tipo, y nuestro diseño esta por debajo con lo que se cumple adecuadamente la norma.

El punto de apoyo más importante en todo este trabajo, es la previa simulación de las piezas en la computadora, por medio del paquete Mechanical Desktop 4.0, ya que fue posible tener un ahorro de tiempo y dinero de gran magnitud, puesto que se evitó la manufactura y el desperdicio de materiales. Gracias a dicho paquete de cómputo nos fue posible observar y sobre todo evitar los errores que se hubieran cometido de no ser modelan los elementos claves de esta máquina, como es en el caso del rotor y de las cuchillas. Con este tipo de ayuda, pudimos observar en la computadora que si se elige un rotor de dos cuchillas, éste pasa por dos puntos de corte al mismo tiempo, y eso genera un incremento en la fuerza de corte y por tanto en el consumo de energía. Este tipo de detalle se eliminó al elegir un rotor de tres cuchillas y también darle un ángulo de inclinación de 3 grados a la base de las cuchillas fijas, todo esto con el fin de hacer un efecto de tijera al cortar el material y hacer el proceso mucho más suave y eficiente.

Las mejoras realizadas en nuestro diseño, mostraron cumplir con su cometido, ya que si se le compara con máquinas ya existentes en el mercado, nuestro diseño además de tener varias modificaciones que resultan ser de gran utilidad, también es mucho más económico, puesto que la máquina más pequeña (serie 2030L) que fabrica la marca DYCOMET PAGANI tiene un precio directo de fabrica de \$ 14,000 MN; y no así nuestra máquina que solo alcanzo la cifra de \$ 2,385 MN. Por lo que se puede decir que se cumplió con los objetivos planteados para este trabajo de tesis y así poder implementar nuestro diseño en la industria y de esta manera beneficiar de manera directa o indirecta a la sociedad al realizar el reciclaje en gran escala y disminuir en buena medida los contaminantes provenientes de los plásticos.

## REFERENCIAS

1.- Hubka, V.

Principles of Engineering Design.

Ed. Butterworth and Co. London.

First Edition, 1982.

2.- Siemens S.A. de C.V.

Siemens Catálogo de Baja Tensión.

Motores

Poniente 116 #590 Col. Industrial Vallejo, Azcapotzalco México D.F.

Ed. Gyc Media, 2001

Pag. 31

3, 4, 5.- Dodge

Catálogo de Diseño para Transmisiones con Banda "V".

Ed. Dodge, 1998

Pags. 8, 9

6.- William C. Orthwein

Diseño de Componentes de Máquinas

Ed. CECSA . México

Primera Edición, 1996

Pag. 730

7.- Dodge

Catálogo de Diseño para Transmisiones con Banda "V".

Ed. Dodge, 1998

Pag. 4

8.- V. M. Faires

Diseño de Elementos de Máquinas

Ed. Uteha. México

Cuarta Edición. 1987.

Pag. 597

9.- Dodge

Catálogo de Diseño para Transmisiones con Banda "V".

Ed. Dodge, 1998

Pags. D2-18 - D2-20.

10.- V. M. Faires

Diseño de Elementos de Máquinas

Ed. Uteha. México

Cuarta Edición. 1987.

Pags. 600 - 609.

## BIBLIOGRAFÍA

Enciclopedia Encarta ("plásticos" CD # 2)

Ed. Microsoft, Miami U.S.A

Segunda Edición, 1999

Hubka, V.

Principles of Engeering Design.

Ed. Butterworth and Co. London.

First Edition, 1982.

Dr. Ernesto Ureta

Polímeros (Propiedades y Aplicaciones)

Ed. LIMUSA. México

Primera Edición. 1989.

Gere – Timoshenko

Mecánica de Materiales

Ed. Iberoamericana. México

Segunda Edición. 1986.

V. M. Faires

Diseño de Elementos de Máquinas

Ed. Uteha. México

Cuarta Edición. 1987.

Joseph Edward Shigley

Diseño en Ingeniería Mecánica

Ed. Mc Graw-Hill. México

Segunda Edición, 1980.

William C. Orthwein  
Diseño de Componentes de Máquinas  
Ed. CECSA . México  
Primera Edición, 1996

Víctor Pérez Amador Barrón  
Generadores, Motores y Transformadores eléctricos  
Ed. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. México  
Primera Edición, 1992

Siemens S.A. de C.V.  
Siemens Catálogo de Baja Tensión.  
Motores  
Poniente 116 #590 Col. Industrial Vallejo, Azcapotzalco México D.F.  
Ed. Gyc Media, 2001

Dodge  
Catálogo de Diseño para Transmisiones con Banda "V".  
Ed. Dodge, 1998

[www.cyan.com](http://www.cyan.com)

[www.wtmexico.com/comesa/maquinaria/html](http://www.wtmexico.com/comesa/maquinaria/html)

[www.paqani.com.mx](http://www.paqani.com.mx)

[www.psrc.usm.edu/spanish/plastic.htm](http://www.psrc.usm.edu/spanish/plastic.htm)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# ANEXOS

### CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA MAQUINA:

Maquina:	Molino 3 FI
Rodamientos:	SKF 6005-2Z
Material Cuchillas:	Acero D2 con doble revenido
N° Cuchillas Rotor:	3
N° Cuchillas Fijas :	2
Diámetro del Rotor:	68 mm.
Largo de las Cuchillas:	100 mm.
Boca de Alimentación:	98 x 98mm.
Producción por Hora:	10 Kg./hr.
Peso de la Maquina:	32 Kg.
Tomillos en Cuchillas del Rotor:	1/4"-NC x 3/4" grado 8
Tomillos en Cuchillas Fijas:	1/4"-NC x 3/4" grado 8
Criba :	Estándar con Barrenos 1/4"
Colector:	"Cajón"
Interrupción de Seguridad:	Micro interruptor Siemens mod.. no. 3SE3200-1C, CTL 330976
Motor Eléctrico:	Siemens Trifásico, NEMA B

---

Potencia            1/2 HP.  
                         1750 r.p.m.  
                         4 polos

---

Estación de botones AUSPICIOUS Tipo SP 315, 500V, 2.2 KW

---



## INTRODUCCIÓN:

Estimado profesor o alumno de la Facultad de Ingeniería (UNAM):

Este manual de instrucciones, que estamos seguros le será de utilidad, ha sido elaborado con el fin de darle a conocer las características, capacidades y pasos a seguir para poner la máquina en marcha y darle al equipo el mantenimiento periódico requerido. Por tal motivo recomendamos que sea leído y estudiado detenidamente por el personal indicado, antes de poner la máquina en marcha.

Solamente siguiendo las instrucciones que a continuación se describen se estará en condiciones de asegurar el funcionamiento correcto de este equipo.

Las operaciones de reparación deberán llevarse a cabo por ingenieros o técnicos calificados.

## DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA:

Esta máquina es un molino diseñado específicamente para moler materiales termoplásticos.

El material por moler entra en la tolva de alimentación colocada en la parte superior del equipo y cae por gravedad en la cámara de molienda donde las cuchillas lo trituran hasta llegar al tamaño adecuado de acuerdo con los barrenos de la criba, de donde pasa al cajón de recolección de material. El tamaño del grano resultante depende exclusivamente del diámetro de los barrenos de la criba y no de la posición o número de cuchillas.

Aunque esta máquina está diseñada para materiales termoplásticos, eventualmente puede moler otros materiales como cuero, papel, resina, hule, etc., siempre y cuando su densidad sea similar a materiales plásticos, metales y otros compuestos de similar dureza no podrán ser procesados pues dañarían las cuchillas de corte.

Todas las partes de esta máquina se han diseñado para una larga vida de muchos años, aun bajo condiciones de trabajo pesado, siempre y cuando se les dé el uso y mantenimiento correcto.

### **FIJACIÓN DEL MOLINO:**

El molino 3 FI, no requiere ser fijado al piso por ser una máquina de uso ligero, basta que se coloquen en un piso nivelado y aplanado, sólo en caso contrario es conveniente calzarlos.

### **PRIMERA PUESTA EN MARCHA DEL MOLINO:**

Estimado usuario, favor de seguir estas consideraciones generales  
Para la puesta en marcha del molino 3 FI.

1. El molino tiene el motor y el arrancador con protección térmica.
2. Al conectar el molino a la fuente de poder principal, cerciórese de que:
  - 2.1 Hacer las conexiones en la tablilla, que tiene el arrancador. Se recomienda colocar fusibles u otro tipo de conexión contra cortocircuito.
  - 2.2 Cerciórese de que el motor gira en el sentido de las manecillas de el reloj, oprimiendo el botón de arranque y el botón de paro, observándolo desde el lado de las poleas, de ser requerido, revisar conexiones y cambiarlas en caso necesario.
3. Presione el botón de paro. Para abrir la tolva desatornille completamente la mariposa o tuerca de fijación de la tolva, abra la tolva hasta que descansa en el tope de tolva.
4. Observe que no exista ningún objeto dentro de la tolva, cámara de molienda y sistema de descarga.
5. Para ver si el micro interruptor funciona correctamente:
  - 5.1 abrir la tolva aproximadamente un centímetro.

- 5.2 presione el botón de arranque, el motor no se debe activar, si el motor se activa, apáguelo inmediatamente y revise la conexión del micro interruptor.
6. Si lo indicado en el paso 5 se cumple, siga a el paso 7, de lo contrario no opere el molino hasta que satisfaga el paso 5.
7. Cierre la tolva y cerciórese de apretar la mariposa o tuerca de fijación de la tolva.
8. Oprima el botón de arranque.
9. Alimente el molino gradualmente con material de probable desecho, con el fin de eliminar la posible grasa y polvo dentro de el molino.
10. Si requiere apagar el molino, espere hasta que la cámara de molienda haya sido desalojada y oprima el botón de paro.
12. Si el molino se para durante el proceso de molienda, desconecte el motor del molino de la fuente de poder, desaloje la cámara de molienda de material, verifique las conexiones eléctricas, la cantidad de material con que fue alimentado y restablezca el equipo.
13. Si requiere ajustar sus cuchillas consulte la tabla anexa en este manual. Recuerde que las cuchillas tienen un filo muy agudo y son peligrosas si no se tiene la precaución debida, evite accidentes.
14. De ser requerida más información, consulte el manual o al Departamento de Ciencia de Materiales ubicado en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

#### OPERACIÓN DEL MOLINO:

La primer molienda es conveniente efectuarla con material de segunda calidad y darle dos o tres pasadas por el molino, con el objeto de limpiar las paredes internas de la máquina y librarlas eventualmente de mínimas cantidades de grasa o polvo.

Para poner en marcha el molino es necesario asegurarse de que no hay material en la cámara de molienda y que la polea pueda girar manualmente. Una vez que el rotor ha alcanzado su máxima velocidad, después del arranque, el molino deberá alimentarse por la tolva en forma gradual. En caso de sobre alimentación de material, el motor se detendrá por el mecanismo de protección contra sobrecarga que se localiza en el arrancador.

**La sobrecarga es una condición sostenida de un amperaje mayor al indicado en la placa de servicio del motor.**

Durante la molienda se van a presentar picos muy altos que sobrepasen este límite, estos picos no causaran problema a menos que el amperaje se eleve en forma constante y en promedio rebase el amperaje del motor.

**Cuando el molino se detenga debido a una sobrecarga, será necesario:**

- Bajar el interruptor de cuchillas,
- Abrir la cámara de molienda y extraer el exceso de material.
- Verificar que en el interruptor de cuchillas no exista un fusible fundido.
- Cerrar el molino, subir el interruptor de cuchillas y encender la máquina otra vez.

Cuando se quiera apagar el molino es conveniente dejarlo operar unos minutos sin alimentarlo, para que el rotor vacíe en su totalidad el material de la cámara de molienda. De no hacerlo así, será necesario abrir el molino y vaciarlo manualmente antes de iniciar nuevamente su operación.

### **INSTALACIÓN ELÉCTRICA:**

Hay que cerciorarse de que la tensión de alimentación corresponda a la que se especifica en la placa que el motor tiene expuesta.

Para la instalación eléctrica del molino se recomienda instalar un interruptor de cuchillas entre la línea de suministro de energía y el arrancador del molino, para energizar el equipo y proteger al sistema eléctrico contra corto circuitos. También será de utilidad para cortar el suministro de corriente eléctrica, para seguridad del operario, mientras se

encuentre limpiando el interior de la cámara de molienda, se da mantenimiento o cuando se lleva a cabo el ajuste de cuchillas.

En las primeras hojas de este instructivo se indica la potencia del motor y las tensiones a la que debe trabajar.

Para las líneas eléctricas que van de la alimentación al interruptor de cuchillas, de este a la estación de botones y de aquí al motor, se deberá utilizar el cable adecuado según especificaciones o uno de un poco más de capacidad para evitar daños al motor o al equipo eléctrico.

**Precaución:** la mala selección del cable en un calibre no adecuado podría provocar daño irreparable en el motor y en toda la instalación eléctrica.

Las tablas 1 y 2, muestran los calibres adecuados de conductores y capacidad de interruptor de cuchillas para cada motor a diferentes tensiones:

**Datos de Instalación**  
**Para**  
**motores eléctricos de**  
**220 v, 60hz, 1750 rpm**  
**3 fases**  
**Con pérdida de voltaje en**  
**línea de**  
**4.4 volts = 2%**

**datos de instalación**  
**Para motores eléctricos de**  
**440 v, 60hz, 1750 rpm**  
**3 fases**  
**Con pérdida de voltaje en línea de**  
**4.4 volts = 2%**

Quando la sección calculada en cm's no soporte la corriente del motor, el cable o alambre calculado deberá cambiarse por uno mayor, cuya sección en cm's soporte convenientemente la corriente en amperes, de acuerdo a la siguiente tabla:

**220 v**

220 volts Motors H.p.	Line Amperage	80c 30mts. Wire Gauge	Conduit	Manual No-break
1.5	5	12	½"	30
2	6.2	12	½"	30
3	8.4	12	½"	30
5	13.6	10	¾"	30
7.5	20.4	8	¾"	60
10	26.6	6	1"	60
15	44	4	1-1/4"	100
20	56	2	1-1/4"	200
25	64	2	1-1/4"	200
30	77	2	1-1/4"	200
40	99	0	1-1/2"	400
50	124	0	2"	400
60	148	00	2"	600
75	182	000	2-1/2"	600
100	240	300 cm	2-1/2"	600
125	300	400 cm	3"	600
150	360	500 cm	3"	600

Tabla (1)

**440 v**

440 volts Motors H.p.	Line Amperage	80c 30mts. Wire Gauge	Conduit	Manual No-break
1.5	2.5	12	½"	30
2	3.1	12	½"	30
3	4.2	12	½"	30
5	6.8	12	½"	30
7.5	10.2	12	¾"	30
10	13.3	12	¾"	30
15	22	10	¾"	60
20	28	8	1"	60
25	32	6	1"	100
30	38.5	6	1-1/4"	100
40	49.5	4	1-1/4"	200
50	62	4	1-1/4"	200
60	74	2	1-1/4"	200
75	91	0	2"	400
100	120	0	2"	400
125	150	00	2"	400
150	180	000	2-1/2"	600

Tabla (2)

Se recomienda utilizar un calibre mínimo del número 12 para el alambre de alimentación.

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

### Propiedades de los conductores de cobre

CALIBRE NUMERO AWG	Diámetro En mm2	Área		CONDUCTORES EN CONDUIT. CARGA ADMISIBLE EN AMP.		NÚMERO DE CONDUCTORES EN UN DUCTO POR CONDUIT					
		mm2	circular MILS	TIPO R.H. (75C)	FORR O Plastila c (60C)						
		1	2	3	4	5	6				
500 mcm	17.961	253.500	500,000	380	320	1-1/2"	3"	3"	3-1/2"	4"	5"
300 mcm	13.912	152.100	300,000	285	240	1-1/4"	2-1/2"	2-1/2"	3"	3-1/2"	4"
250 mcm	12.700	126.750	250,000	255	215	1-1/4"	2-1/2"	2-1/2"	3"	3"	3-1/2"
0000	11.684	107.225	212,600	230	195	1-1/4"	2"	2-1/2"	3"	3"	3"
200 mcm	11.359	101.400	200,000	-	-	-	-	-	-	-	-
000	10.403	85.032	167,800	200	165	1"	2"	2"	2-1/2"	3"	3"
00	9.266	67.419	133,100	175	145	1"	2"	2"	2-1/2"	2-1/2"	3"
0	8.252	53.477	105,500	150	125	1"	1-1/2"	2"	2"	2-1/2"	2-1/2"
1	7.348	42.406	83,690	130	110	3/4"	1-1/2"	1-1/2"	2"	2-1/2"	2-1/2"
2	6.543	33.632	66,370	115	95	3/4"	1-1/4"	1-1/4"	2"	2"	2"
3	5.827	26.670	52,640	100	80	3/4"	1-1/4"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2"
4	5.189	21.148	41,740	85	70	3/4"	1-1/4"	1-1/4"	1-1/2"	1-1/2"	2"
5	4.620	16.774	33,100	-	63	-	-	-	-	-	-
6	4.115	13.303	26,250	65	55	3/4"	1"	1"	1-1/4"	1-1/2"	1-1/2"
7	3.665	10.550	20,820	-	-	-	-	-	-	-	-
8	3.264	8.367	16,510	45	40	3/4"	3/4"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/4"
9	2.906	6.632	13,090	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2.588	5.261	10,380	30	30	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	1"	1"
11	2.305	4.172	8,234	-	-	-	-	-	-	-	-
12	2.053	3.309	6,530	20	20	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	1"
13	1.828	2.624	5,178	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1.628	2.081	4,107	15	15	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
15	1.450	1.650	3,257	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1.291	1.309	2,583	-	-	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
17	1.150	1.038	2,048	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1.024	0.8232	1,624	-	-	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"

Tabla (3)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En el molino se ha colocado un interruptor de seguridad para impedir el accionamiento del molino cuando éste se encuentra abierto. Este interruptor se conecta en línea con el botón de paro del arrancador. Es muy importante que al arrancar la máquina por primera vez deberán cerciorarse que no exista ningún tipo de material dentro de la cámara de molienda.

El motor de nuestro molino es trifásicos, tipo jaula de ardilla con rodamientos prelubricados, por lo que no requieren de mantenimiento, excepto mantenerlos limpios y evitar que lleguen a caer materiales plásticos u otros materiales dentro de los mismos.

**Precaución:** el motor instalado en nuestro molino es enfriado por aire, por lo mismo, deberá colocarse en un lugar ventilado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## CUIDADO DE CUCHILLAS:

1. Las cuchillas instaladas en el molino están fabricadas con acero aleado al cromo de la más alta calidad. Cada cuchilla ha sido templada y rectificada en forma individual, lo que permite un excelente nivel de resistencia al desgaste.
2. **Precaución:** cuando el molino esté funcionando hay que evitar que cualquier parte metálica penetre a la cámara de molienda; esto puede dañar las cuchillas seriamente y en la mayoría de veces llegar a romperlas provocando en algunos casos deterioro tanto de criba como a veces de otros componentes de la cámara de molienda.
3. Cuando el filo de las cuchillas empiece a redondearse o esté muy golpeado, será necesario afilarlas con una rectificadora de superficies planas, nunca con el esmeril o con una lijadora. Si no se cuenta con una rectificadora de este tipo, las cuchillas deberán enviarse a un taller capacitado, para su afilado.
4. Para afilar las cuchillas en forma correcta, hay que seguir los siguientes pasos:
  - a) Las cuchillas del rotor deberán afilarse de tal manera que todas queden a la misma medida de ancho; es decir, se les quitara la misma cantidad de material para que todas queden uniformes. Se recomienda comenzar el afilado con la cuchilla en peor estado.
    - a.1) Las cuchillas de rotor, se rectifican por la cara externa. (ver dibujo).
  - b) Las cuchillas fijas o de caja se afilan en forma individual y según lo requieran, sin importar las medidas de ancho de cada una, ya que éstas se pueden ajustar
- 5.- los tornillos que sujetan las cuchillas deberán ser de acero templado SAE. grado 8 con el torque recomendado.

**Precaución:** nunca deben usarse tornillos de hierro o tipo "cap". Estos no pueden calibrarse al torque recomendado y se pueden romper causando daño a las cuchillas.

6.- si los tornillos de las cuchillas están provistos de rondanas, estas deberán ser de acero tratado AISI-9840 o AISI-4140 a una dureza de 270-320 BHN (25-34 RC).

**Precaución:** no deberán usarse rondanas de hierro ni rondanas de presión. Este tipo de rondanas se deforman e incluso pueden romperse al ser apretadas con el par de torque indicado.

Pares de apriete (torque) recomendados para tornillos "SAE" grado 8

Tornillos	Kg-m torque	Lb-pie torque
1/4" -3/8" nc	5.0	44
1/2" nc	15.2	110
5/8" nc	29.7	215
3/4" nc	48.4	350
7/8" nc	62	450
1" nc	69	500

grafica (4)

\*La tornillería "SAE" de grado 8 se reconoce por un símbolo distintivo de seis rayas grabadas sobre la cabeza. 1 lb. -pie es iguala 0. 1383 kg.-m.

#### AJUSTE DE CUCHILLAS:

Antes de colocar las cuchillas verifique que los asientos y los respaldos estén perfectamente limpios. A continuación proceda con los siguientes pasos:

1. Las cuchillas del rotor se colocan verificando que asienten perfectamente, tanto en su asiento como en su respaldo. Los tornillos que sujetan a las cuchillas se van apretando poco a poco y por los extremos hasta llegar al torque indicado, cuidando de que el apriete de tornillos no separe a las cuchillas de su respaldo.
2. Se colocan las dos hileras de cuchillas fijas de la caja. Primero se ajusta la hilera de cuchillas que están del lado del plano inclinado y, posteriormente, las del lado opuesto.

3. Para ajustar las cuchillas fijas de la caja contra las cuchillas del rotor, hay que acercar unas contra otras lo más posible y sin que rocen;

Para los ajustes de 0.1 mm., señalados en la tabla de ajuste de cuchillas, se usa una hoja de papel como calibrador; la hoja se coloca entre las cuchillas del rotor y las cuchillas fijas y se gira el rotor, manualmente. Las cuchillas del rotor no deben cortar la hoja de papel, únicamente deberán doblarla, marcando así la línea de corte. Es muy importante verificar las marcas en los extremos de todas las cuchillas.

El ajuste correcto de cuchillas, se especifica en la siguiente tabla de ajuste de cuchillas:

Molino	Ajuste en mm.	Ajuste en pulgadas
3 FI	0.1	0.0039

Grafica (5)

**Nota:** El ajuste de la línea de corte deberá llevarse a cabo siempre, sin importar la medida deseada del material molido. El tamaño del grano lo determina el diámetro de los barrenos de la criba.

#### CRIBAS DEL MOLINO:

La criba tiene por objeto dar la medida deseada al material granulado. Esto se logra por medio del diámetro de perforaciones con que viene barrenada.

Molino	Diámetro de Barreno
3 FI	(1/4")

Grafica (6)

Las cribas se maquinan con el diámetro de barrenos para el tamaño de grano deseado y de acuerdo a las necesidades de cada tarea.

En el molino las cribas y sus soportes son cambiables. Para cambiar la criba será necesario remover los tornillos de la criba deslizándolos hacia afuera; el soporte junto con la criba deberán caer por la parte inferior de la cámara de molienda.

Cada vez que se cambie una criba, será necesario sostener la pieza para evitar que se maltrate. La criba ha sido ajustada para el molino, por lo que una nueva debe ser ajustada en su lugar, ya sea abriendo o cerrando el diámetro del rolado de la pieza.

**Nota:** entre más grandes sean los barrenos de la criba mayor será el tamaño del granulado y mayor la cantidad de producción; por el contrario, mientras más pequeño sea el diámetro de los barrenos, más fino será el tamaño del granulado pero la producción bajará considerablemente.

#### **MANTENIMIENTO SEMANAL:**

La duración y buen funcionamiento de este molino dependen del buen uso, el cuidado y mantenimiento preventivo programado y el mantenimiento correctivo que se le dé.

A continuación enumeramos los puntos más importantes que se deben revisar, recuerde que el interruptor de cuchillas del arrancador del molino esté desconectado.

1. Los rodamientos del rotor no requieren ser engrasados, ya que estos son de tipo sellado y prelubricados.
2. Revisar el filo y el ajuste de las cuchillas; las cuchillas desafiladas o desajustadas generan calor y contribuyen al bajo rendimiento de la máquina.
3. Verificar que los tornillos de las cuchillas estén correctamente apretados. El apriete de tornillos debe hacerse con una llave de torque ajustada de acuerdo a la tabla especificada anteriormente.

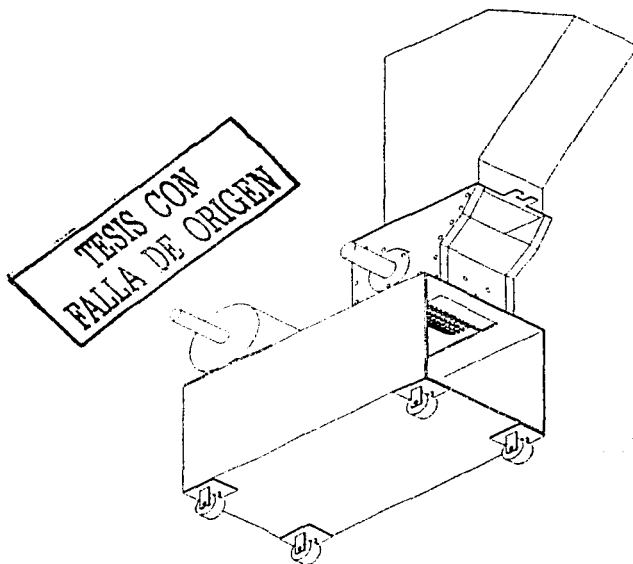
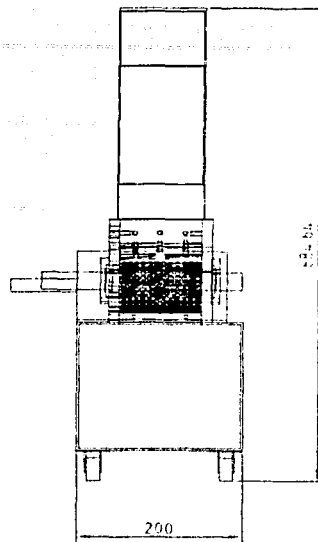
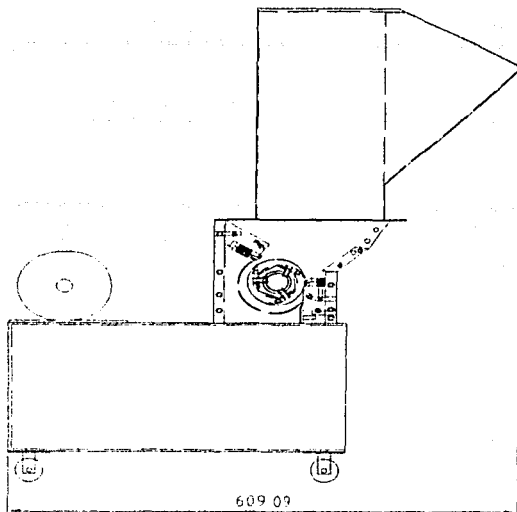
4. Verificar el buen estado general y tensión correcta de las bandas. Para ajustar la tensión de bandas es necesario correr el motor hacia atrás.
5. En la parte inferior de los portabaleros del rotor hay unas ranuras por donde puede salir pequeñas cantidades de material molido en forma de polvo; limpie esta área para que el material salga libremente. Cuando estas aberturas se tapan los baleros pueden llenarse de material plástico, ocasionando su destrucción.
6. Verificar que no haya material enredado en el ventilador del motor, ni en la flecha del motor, ni en el rotor del molino.
7. Para limpieza del rotor, aplicar aire a presión en el ensamble del portabalero, flange y placa lateral.

#### **MANTENIMIENTO GENERAL:**

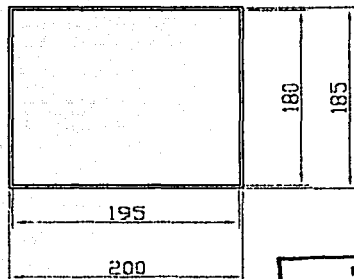
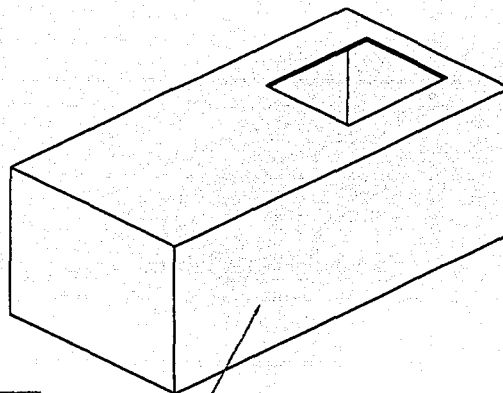
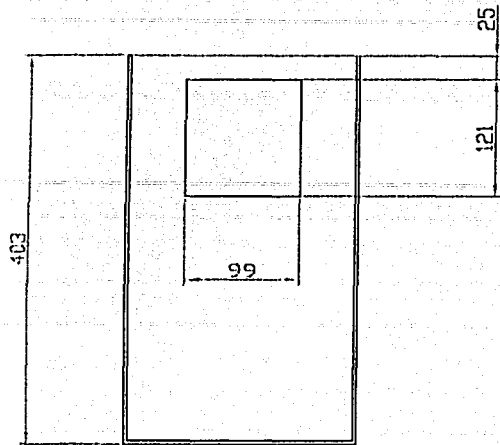
Hay otros puntos que deberán verificarse cada dos o tres meses:

1. Apretar todos los tornillos de la máquina que se pudieran haber aflojado por las vibraciones, sobre todo los que sujetan a las cuchillas.
2. Revisar el buen estado general de toda la instalación eléctrica.
3. Verificar que los contactos del arrancador estén en buen estado y limpios de carbón. Limpie los contactos eléctricos utilizando un paño húmedo con gasolina, no los lije. Si esto no soluciona el problema proceda a cambiarlos por contactos nuevos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

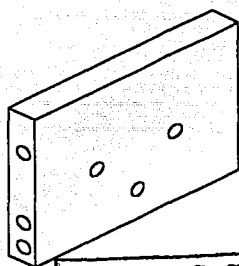
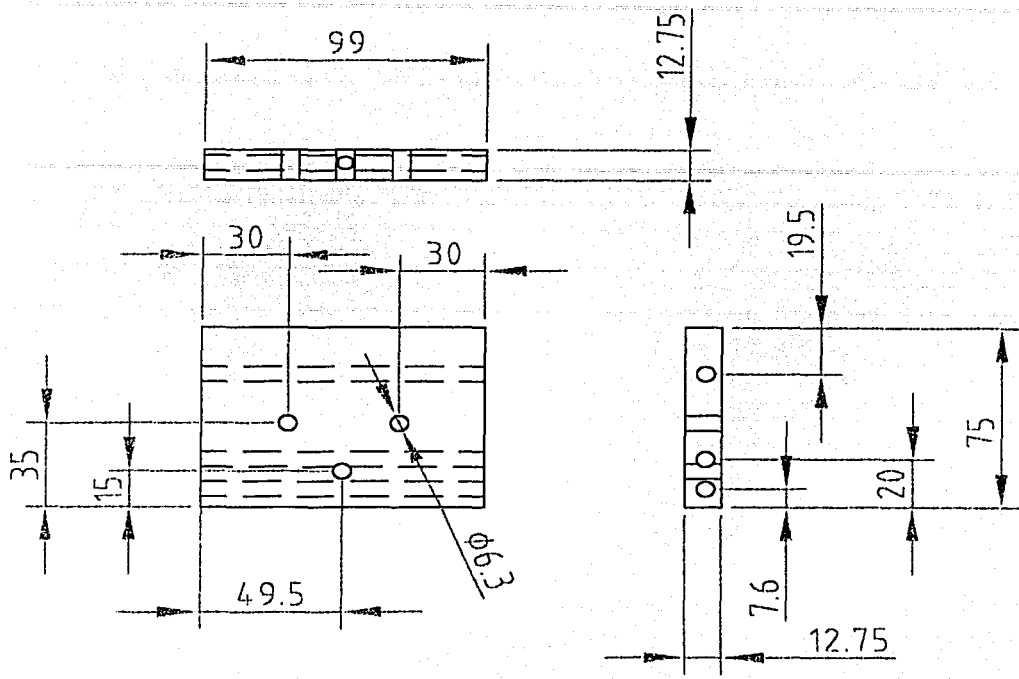


DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 16/05/2003	ESCALA 1:8
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>PLANO DE CONJUNTO</b>	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION mm



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

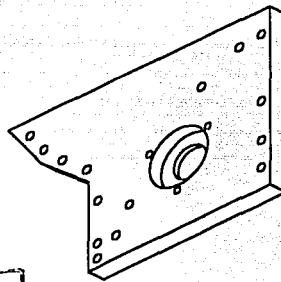
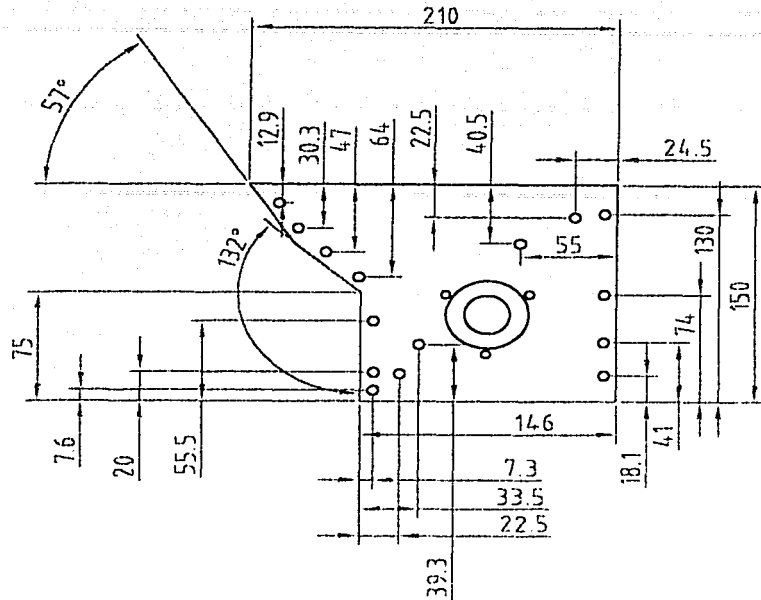
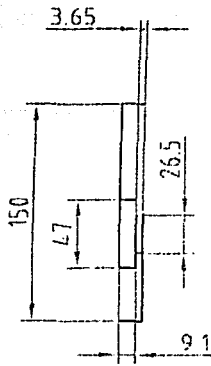
DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 15/05/2003	ESCALA 1:5
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>BASE</b>	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	PLANO # 1



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

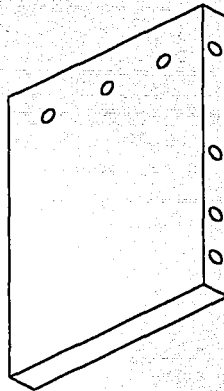
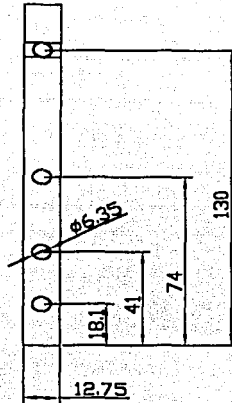
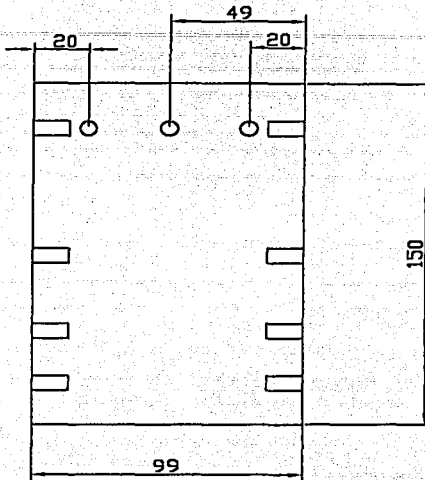
DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 16/05/2003	ESCALA 1:2
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>PLACA DELANTERA</b>	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION mm





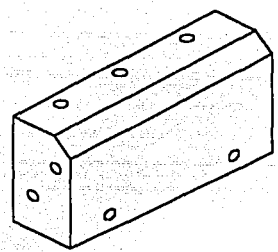
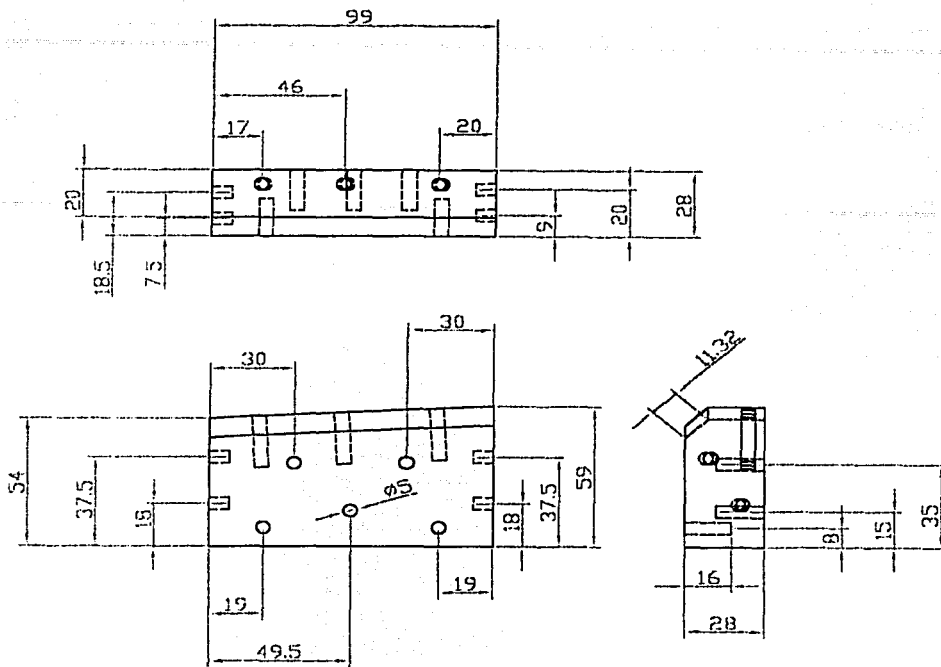
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 17/05/2003	ESCALA 1:3
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>PLACA LATERAL</b>	
	TRITURADORA DE PLASTICO	ACOTACION mm



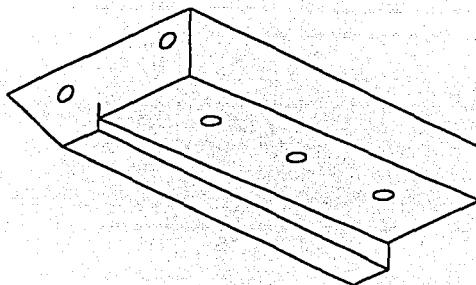
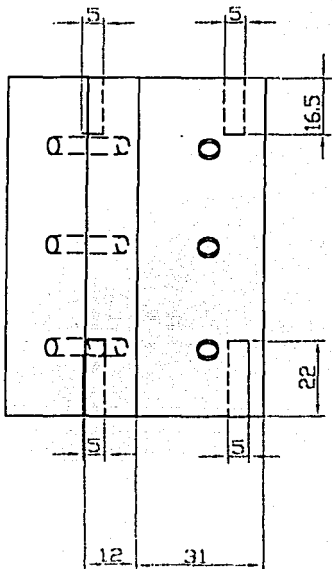
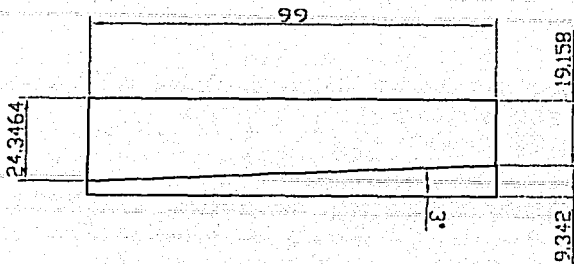
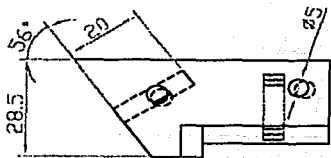
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 17/06/2003	ESCALA: 1:3
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>PLACA TRACERA</b>	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION: mm



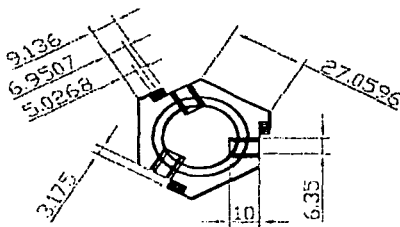
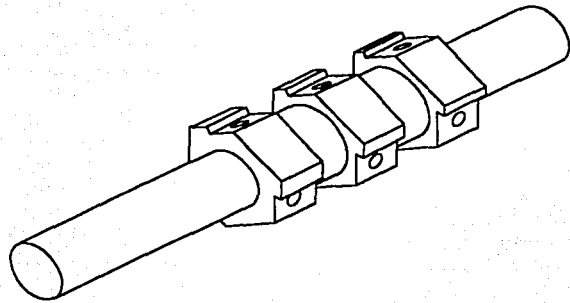
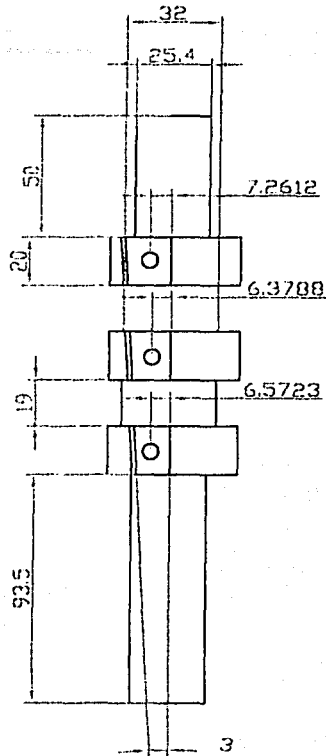
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

DIBUJADO POR: <b>Gabriel Alvarez Ramos</b>	FECHA: 17/05/2003	ESCALA 1: 2
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>PORTA CUCHILLA</b> <small>(DELANTERA)</small>	
	TRITURADORA DE PLASTICO	ACOTACION mm



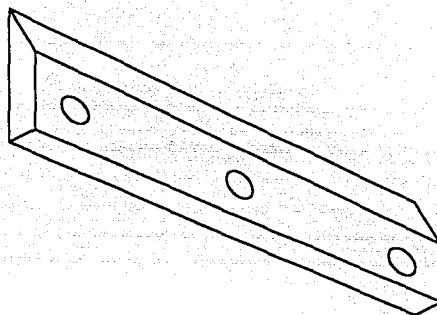
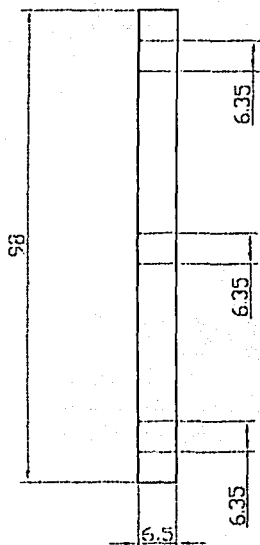
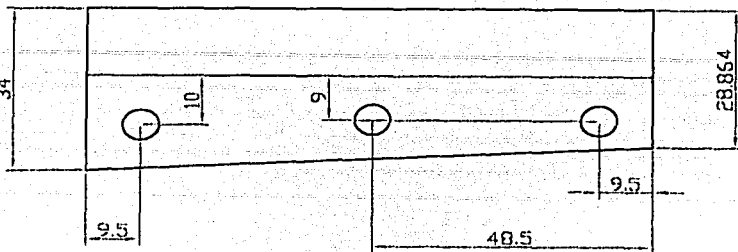
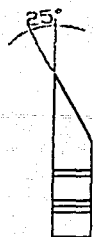
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 17/05/2003	ESCALA 1:2
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>PORTA CUCHILLA</b> (TRACERA)	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION mm



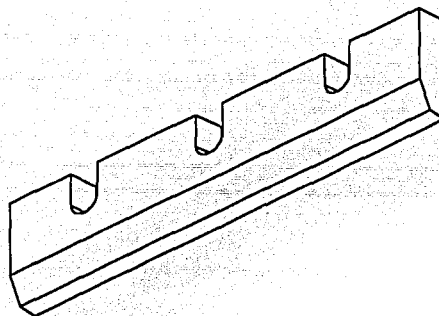
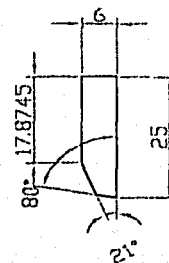
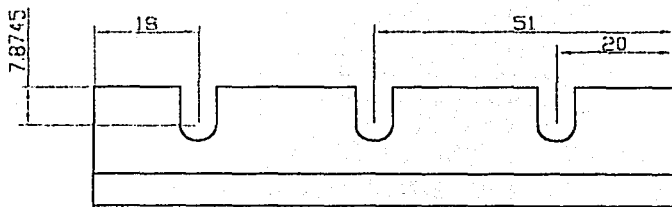
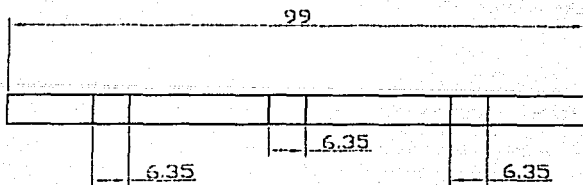
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 16/05/2003	ESCALA 1:2
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>FLECHA DEL ROTOR</b>	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION mm



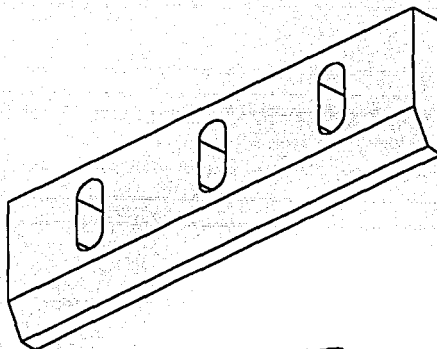
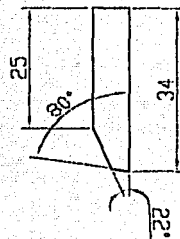
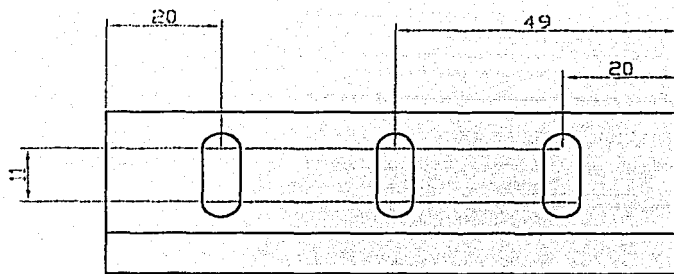
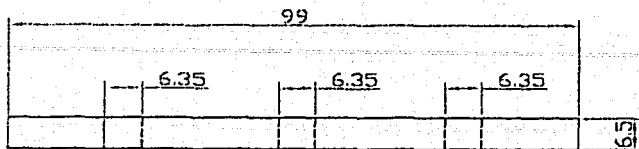
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 15/05/2003	ESCALA 1:1
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	CUCHILLA MOVIL	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION: mm



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 15/05/2003	ESCALA 1:1
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	CUCHILLA FIJA (DELANTERA)	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION MM

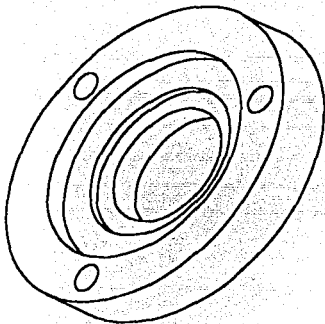
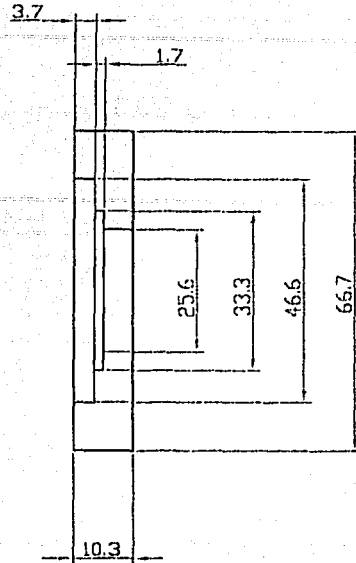
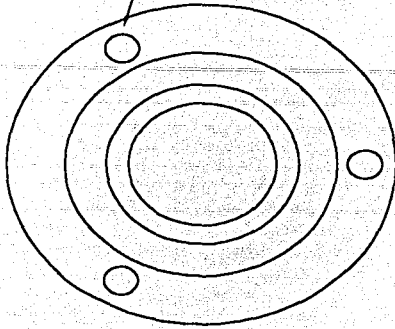


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 16/05/2003	ESCALA 1:1
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	CUCHILLA FIJA (TACERA)	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION mm

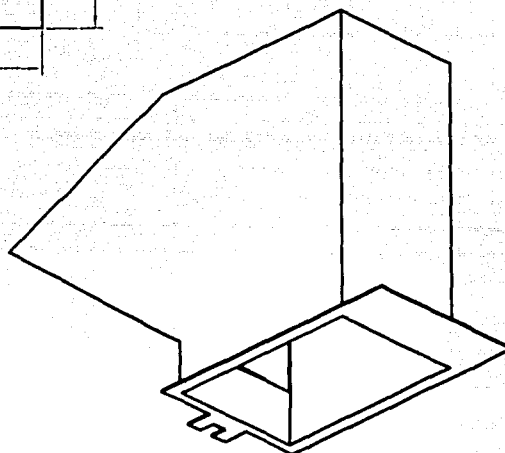
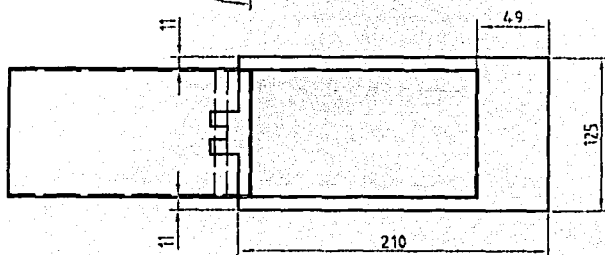
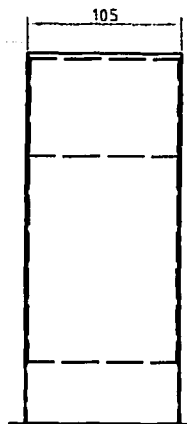
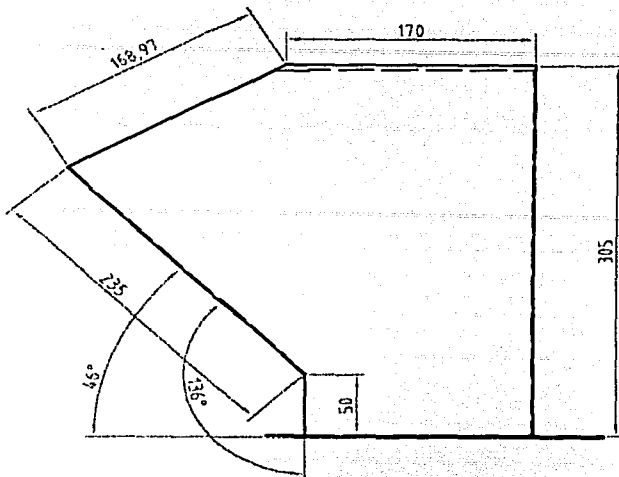


3 BARRENOS Ø6 a 120°



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DIBUJO: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 17/05/2003	ESCALA 1:1
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>TAPA PORTA BALERO</b>	
	TRITURADORA DE PLASTICO	ACOTACION mm



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 16/05/2003	ESCALA 1:4
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>TOLVA DE ALIMENTACION</b>	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION mm

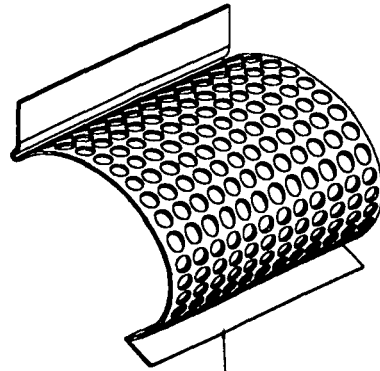
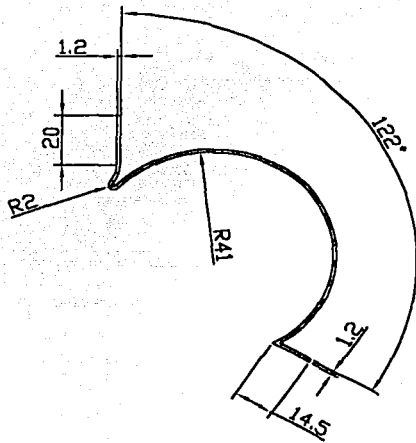
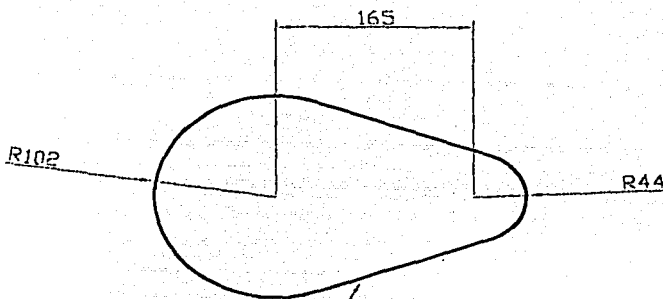
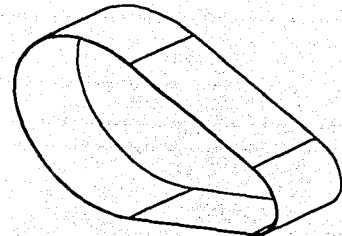
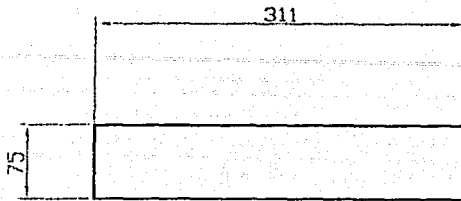


LÁMINA CALIBRE 18 ROLADA  
Y BARRENADA CON BROCA DE  
1/4 DE PULGADA

TESIS CON  
FALLA DE GEN

DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 16/05/2003	ESCALA 1:2
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>CRIBA</b>	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION mm



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

LAMINA CALIBRE 20  
ROLADA Y UNIDA CON  
PUNTOS DE SOLDADURA

DIBUJADO POR: Gabriel Alvarez Ramos	FECHA: 16/05/2003	ESCALA 1:15
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	<b>CUBRE POLEAS</b>	
	TRITURADORA DE PLASTICOS	ACOTACION MM