



UNIVERSIDAD LA SALLE
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

INCORPORADA A LA UNAM

**PROCESO DE RECICLADO PARA POLIPROPILENO
POST-CONSUMO EN MEXICO**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A
ANGEL MALDONADO SALGADO

DIRECTOR DE TESIS: MTRO. MARCO ANTONIO URESTI MALDONADO

MEXICO, D.F.

2014



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.



AUTORIZACIÓN PARA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO ESCRITO

**DIRECTOR (A) GENERAL DE INCORPORACIÓN
Y REVALIDACIÓN DE ESTUDIOS
UNAM
PRESENTE**

Me permito informar a usted que **el trabajo escrito:**

“PROCESO DE RECICLADO PARA POLIPROPILENO POST-CONSUMO EN MEXICO”

Elaborado por:

<u>MALDONADO</u>	<u>SALGADO</u>	<u>ANGEL</u>	<u>827169193</u>
Apellido Paterno	Apellido Materno	Nombre	Núm. de cuenta

Alumno (s) de la carrera de: INGENIERO QUÍMICO

Reúne(n) los requisitos académicos para su impresión.

México, D. F., 22 de octubre de 20 14
Entidad Federativa fecha


MTRO. MARCO ANTONIO URESTI MALDONADO

Asesor de Tesis


MTRO. JOSÉ ELÍAS GARCÍA ZAHOUL

Director
Facultad de Ciencias Químicas


Sello de la Institución

Tema	Página
Índice de capítulos.	3
Índice de figuras.	6
Índice de tablas.	7
1.0 Introducción y objetivos.	8
1.1 Introducción.	8
1.2 Objetivo General.	9
1.3 Objetivos Específicos.	9
2.0 Antecedentes.	9
3.0 Introducción a los plásticos.	13
3.1 Generalidades de los plásticos.	13
3.2 Breve historia de los plásticos.	14
3.3 Clasificación de los plásticos de acuerdo a su comportamiento a la temperatura.	15
a) Termoplásticos.	15
i) Amorfos.	15
ii) Semicristalinos.	16
b) Termofijos.	16
c) Elastómeros.	17
4.0 Características, estructura y propiedades del Polipropileno.	17
4.1 Historia.	17
4.2 Materias primas para la obtención del polipropileno.	18
4.3 Clasificación por contenido de materias primas.	19
4.4 Clasificación por estructura química.	20
4.5 Propiedades físicas.	22
4.6 Propiedades mecánicas.	22
4.7 Propiedades térmicas.	23
4.8 Propiedades ópticas.	24
4.9 Propiedades eléctricas.	24
4.10 Propiedades químicas.	25

5.0	Procesos de producción del polipropileno.	26
5.1	Polimerización con diluyente nafta.	26
5.2	Polimerización con diluyente alcohol etílico.	27
5.3	Polimerización en masa gaseosa.	27
5.4	Polimerización en masa líquida.	28
5.5	Capacidad instalada mundial y por regiones.	28
6.0	Procesos de transformación y aplicaciones del polipropileno.	30
6.1	Moldeo por inyección.	30
6.2	Moldeo por soplado.	31
	a) Moldeo por inyección-soplado.	31
	b) Moldeo por extrusión-soplado.	32
6.3	Extrusión de películas planas y hojas.	32
6.4	Mercado mundial de polipropileno y mercado en México.	34
7.0	Reciclado de plásticos.	35
7.1	Historia del reciclado.	35
7.2	Razones para reciclar.	36
7.3	Tratamiento de la basura.	38
	a) Relleno sanitario.	38
	b) Pepena.	39
	c) Compactación.	40
	d) Incineración.	40
	e) Composteo.	40
	f) Químico	40
	g) Degradación.	41
	h) Reciclado.	41
8.0	Procesos y maquinaria para el reciclaje de plásticos.	42
8.1	Tipos de reciclaje.	42
8.2	Etapas en el reciclaje secundario.	43
	a) Acopio.	44
	b) Selección.	45
	i) Identificación de los diferentes materiales plásticos.	45
	ii) Selección automatizada.	47
	iii) Selección manual.	47
	1) Selección negativa.	47

2) Selección positiva.	48
iv) Pruebas de laboratorio.	51
c) Molienda.	52
d) Lavado.	58
e) Secado.	60
f) Pelletizado.	60
9.0 Problemas mas frecuentes en el reciclado.	62
9.1 Propiedades de los plásticos reciclados.	63
10.0 Cuantificación de las proyecciones financieras.	65
10.1 Premisas de mercado.	65
10.2 Premisas de operación.	65
10.3 Premisas de inversión.	66
10.4 Premisas de ubicación, dimensiones y distribución de la planta.	66
10.5 Proyecciones financieras.	67
10.6 Índices de rentabilidad.	68
11.0 Conclusiones.	68
12.0 Bibliografía.	70
13.0 Referencias.	71
14.0 Glosario.	72
15.0 Anexos.	83
15.1 Anexo 1. Cotización de equipo por parte de fabricante mexicano.	83
15.2 Anexo 2. Cotización de equipo por parte de fabricante chino.	86
15.3 Anexo 3. Cotización de equipo por parte de fabricante europeo.	107

Índice de figuras.	Página
Figura 1. Plástico reciclado contra otros mercados de reciclaje.	11
Figura 2. Cadena de valor del PET.	12
Figura 3. Termoplástico Amorfo.	15
Figura 4. Termoplástico Semicristalino.	16
Figura 5. Termofijo o termoestable.	16
Figura 6. Elastómero.	17
Figura 7. Molécula de polipropileno.	19
Figura 8. Polipropileno Isotáctico.	21
Figura 9. Polipropileno Sindiotáctico.	21
Figura 10. Polipropileno Atáctico.	22
Figura 11. Acciones para tratar el problema de contaminación por plásticos.	37
Figura 12. Códigos de identificación de envases de plástico para reciclaje.	46
Figura 13. Selección Negativa o Negative Sorting.	48
Figura 14. Selección Positiva o Positive Sorting.	49
Figura 15. Máquina quita-etiquetas.	49
Figura 16. Criba cilíndrica o Trommel.	50
Figura 17. Detector de metales.	50
Figura 18. Silo, pulmón o acumulador.	51
Figura 19. Diagrama de flujo para identificar los termoplásticos más comunes.	51
Figura 20. Molino de cuchillas giratorias.	53
Figura 21. Tolva estándar.	54
Figura 22. Tolva recta.	54
Figura 23. Tolva para banda.	55
Figura 24. Tolva alta para banda.	55
Figura 25. Rotor con cuchillas de tipo inclinado.	56
Figura 26. Rotor con cuchillas de tipo alternado.	56
Figura 27. Material molido sucio.	57
Figura 28. Línea completa de reciclado.	59
Figura 29. Material reciclado pelletizado.	61
Figura 30. Caja agrícola fabricada con material reciclado.	61
Figura 31. Diagrama de distribución de la planta.	67

Índice de tablas.	Página
Tabla 1. Propiedades del polipropileno contra otros polímeros.	25
Tabla 2. Cambios en el polipropileno con diferentes productos químicos.	26
Tabla 3. Capacidad instalada mundial de polipropileno por región. Fuente IHS.	29
Tabla 4. Capacidad instalada de polipropileno para Norteamérica. Fuente IHS.	29
Tabla 5. Datos de densidad de algunos tipos de termoplásticos.	63
Tabla 6. Datos de índice de fluidez de algunos tipos de termoplásticos.	63
Tabla 7. Influencia de la densidad y el índice de fluidez en otras propiedades de los plásticos reciclados.	64
Tabla 8. Estado de Resultados Proyectado (5 años).	67

PROCESOS DE RECICLAJE PARA POLIPROPILENO POST-CONSUMO EN MEXICO.

1.0 Introducción y objetivos

1.1 Introducción

La vida cotidiana, como se conoce actualmente, sería imposible de concebir sin una serie de descubrimientos y avances en muchos campos de la ciencia. El mundo ha cambiado radicalmente en los últimos 100 años con el desarrollo de nuevos materiales y nuevas tecnologías, con lo que se ha facilitado la forma de vivir del ser humano. Un ejemplo de esto, es la incorporación a nuestras vidas de la industria petroquímica y de los plásticos en general, a la vida moderna.

Los plásticos han reemplazado a otros materiales como el vidrio, ya que son mucho menos pesados y permiten tener mayor rentabilidad en algunas aplicaciones, por ejemplo, en una carga de 10,000 kg de bebidas envasadas en recipientes de plástico, la distribución de los pesos es de 400 kg de plástico por 9,600 kg de bebidas. Si la misma carga se envasara en recipientes de vidrio, la división de los pesos sería muy diferente, 3,700 kg de vidrio contra 6,300 kg de líquidos. Esto se traduce en una pérdida de energía considerable debido al transporte del material de empaque, pero a la vez también genera un problema por desechos plásticos que antes no se tenía.

La basura generada por las actividades humanas, hasta mediados del siglo XX, consistía principalmente en desechos biodegradables o reciclables. Al incorporarse el plástico a la vida cotidiana, una parte considerable de los desechos producidos comenzó a acumularse en el ambiente, precisamente por la resistencia de los plásticos a la corrosión, la intemperie y la degradación por microorganismos (biodegradación).

El problema de la acumulación de los desechos plásticos se agrava si se considera que el consumo per cápita¹ de plástico en los países más desarrollados económicamente, como Alemania, es entre 180 y 200 kilogramos al año, Estados Unidos (180), Canadá (160), España (140-150), Italia (140), Francia (130), Japón (120) y Corea (110), estos países consumen tres veces más plástico que los países menos desarrollados y son también los que cuentan con programas de reciclaje avanzados. Actualmente en México, el consumo de plástico per cápita es de 50 kilogramos anuales, mientras que en 2008 fue de 34 kg. Del total consumido, más de 1,000,000 de toneladas por año se convierten en desecho.

En este trabajo se abordará principalmente la producción, aplicaciones y reciclado del plástico (particularmente del polipropileno), un material que hoy en día es imprescindible en todos los hogares del mundo, sus usos y aplicaciones son muy diversos y su costo lo ha puesto al alcance de cualquier habitante del planeta, pero además de estas bondades, también genera una serie de problemas muy serios ya que su acumulación en el medio ambiente es cada vez más un tema a

considerar en el mundo actual.

Por lo anterior los objetivos del presente trabajo son:

1.2 Objetivo General

Determinar la factibilidad de la instalación de una fábrica de reciclaje de artículos plásticos desechables de polipropileno (PP) en la ciudad de México.

1.3 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio sobre la importancia y los beneficios del reciclaje.
- Determinar las capacidades instaladas de producción de PP, así como el tamaño del mercado tanto a nivel mundial como en México
- Plantear un método de reciclaje de envases PP post consumo conveniente para la ciudad de México.
- Determinar los beneficios económicos de reciclar y recuperar material post consumo de PP.

2.0 Antecedentes

La producción de polímeros en México y en el ámbito mundial ha estado influenciada por el crecimiento de la población y el desarrollo acelerado de la ciencia y la tecnología, así como de la explotación y transformación de los recursos naturales. En las últimas décadas, el hombre se ha visto en la necesidad de cubrir la demanda de una cantidad de productos necesarios para su existencia y comodidad, esto lo hace mediante la aplicación de técnicas de síntesis; así, por ejemplo, ha elaborado gran cantidad de fibras que requiere para vestir, lo que de otra manera y, mediante fibras naturales, no podría satisfacer.

La humanidad actualmente se viste con estos materiales, los utiliza como utensilios para comer y tomar líquidos, los usa en la fabricación de muebles (camas, sillas, mesas, etc.), sirven como ductos para transportar líquidos y como aislantes de corriente eléctrica, con su ayuda se escuchan sonidos, las personas se comunican y conocen lugares lejanos en tiempo y espacio. Los hogares y medios de transporte contienen cada vez mayor porcentaje de ellos.

Algunas propiedades que los hacen tan ampliamente usados son: la facilidad con la que pueden ser trabajados o moldeados, su impermeabilidad, su baja densidad (pesan poco en relación a su volumen, son más ligeros respecto de otros materiales), su baja conductividad eléctrica, su resistencia a la corrosión y a la intemperie, su resistencia a diversos factores químicos y biológicos y, en buena medida, su bajo costo.

Si bien los plásticos son inertes y no son tóxicos, su degradación es muy lenta. La descomposición de productos orgánicos tarda tres o cuatro semanas; la de telas

de algodón, cinco meses; mientras que la del plástico puede tardar hasta 500 años. En su proceso de degradación simplemente se generan partículas de plástico más pequeñas que, a pesar de que ya no son evidentes al ojo humano, se acumulan en los ecosistemas. Adicionalmente, la contaminación que producen es visual y el problema va en aumento, ya que cada vez más se utilizan estos materiales para distintos fines y estos se siguen acumulando año con año en los ríos, en las calles, en los rellenos sanitarios, en el campo, en las playas, etc. Actualmente se teme que la civilización quede sepultada bajo una montaña de desechos plásticos.

El ingenio que ha sido capaz de sintetizar estos materiales hoy día se enfrenta con la problemática de grandes cantidades de plásticos en basureros y fuera de ellos que contaminan todo el planeta, lo cual se tiene que resolver de alguna manera. De acuerdo con el avance cultural, científico y tecnológico que tenga cada pueblo o nación, será la forma de como procese sus desechos sólidos plásticos.

Según datos de la Asociación Nacional de las Industrias del Plástico (ANIPAC)², en México sólo se recicla el 13% de las seis millones de toneladas de plástico que se consumen al año. La falta de un manejo responsable de los residuos plásticos en el país, alentada por un pobre compromiso de los gobiernos municipales para hacer cumplir la ley en materia de separación de residuos sólidos, son dos de las principales causas por las que se da este fenómeno en México. Otro factor que contribuye a agudizar el problema es la pobre educación que tiene la población en general sobre el tema, la falta de conciencia en los respectivos hogares para separar la basura de manera adecuada, o en su caso, el continuar con el esfuerzo de separación en los camiones de recolección de basura.

¿Qué alternativas de solución se tienen?

- Reducir el peso de los envases y envolturas. Algo que ya se está haciendo y de cualquier manera el uso de estos materiales a nivel mundial sigue en aumento.
- Reusar los envases y envolturas. También ya se está haciendo.
- Reciclarlos. Se hace con los que existe rentabilidad comercial.
- Incinerarlos. Se puede hacer con todos menos con los clorados. Estos producen compuestos venenosos (dioxinas) o gases de cloro que atacan la capa de ozono.
- Usar plásticos degradables. Se encarece el costo de producción alrededor de 30–50 %.
- Incorporar aditivos degradables en los plásticos convencionales. Aumentan su costo en aproximadamente 10%.

Dado que en México la industria de reciclaje de plásticos es todavía muy joven y que adicionalmente hay mucho material de desecho que no se utiliza para nada, se presenta una oportunidad muy grande de hacer un negocio rentable y ayudar a combatir el problema de la contaminación.

La imperiosa necesidad que se tiene en el planeta por reutilizar cada vez más los desechos sólidos, ha impulsado el desarrollo de la industria del reciclaje, que en los últimos años ha tenido un crecimiento muy importante. Las principales causas que alientan la reutilización de los desperdicios son: el problema ambiental que representa la basura por si misma y el abatimiento de costos en algunas industrias y para algunas aplicaciones, al dar una “segunda oportunidad” a materiales que “eran basura” en otras épocas.

La figura 1 muestra la tendencia de crecimiento que han tenido algunos materiales, tales como el papel, el vidrio, el aluminio y el plástico como materia prima para ser reciclada a distintas industrias. Como se puede apreciar, hay materiales que se reaprovechan mejor que otros, el papel, por ejemplo, se ubica con el mayor volumen de reutilización de todos los desechos que se van a la basura, su tasa anual de crecimiento compuesto en 10 años es de 8.8% anual, mientras que para el vidrio y el aluminio es de 7.2% anual y 0.6% anual respectivamente. En contraste, el plástico representa el menor volumen reutilizado de los cuatro ejemplos presentados en la figura 1, sin embargo, su tasa anual de crecimiento compuesto alcanza 30.9%.

Esto implica que hay una gran oportunidad de incrementar los volúmenes de plástico reciclado en México con el consiguiente crecimiento de las empresas que se dediquen a esta actividad.

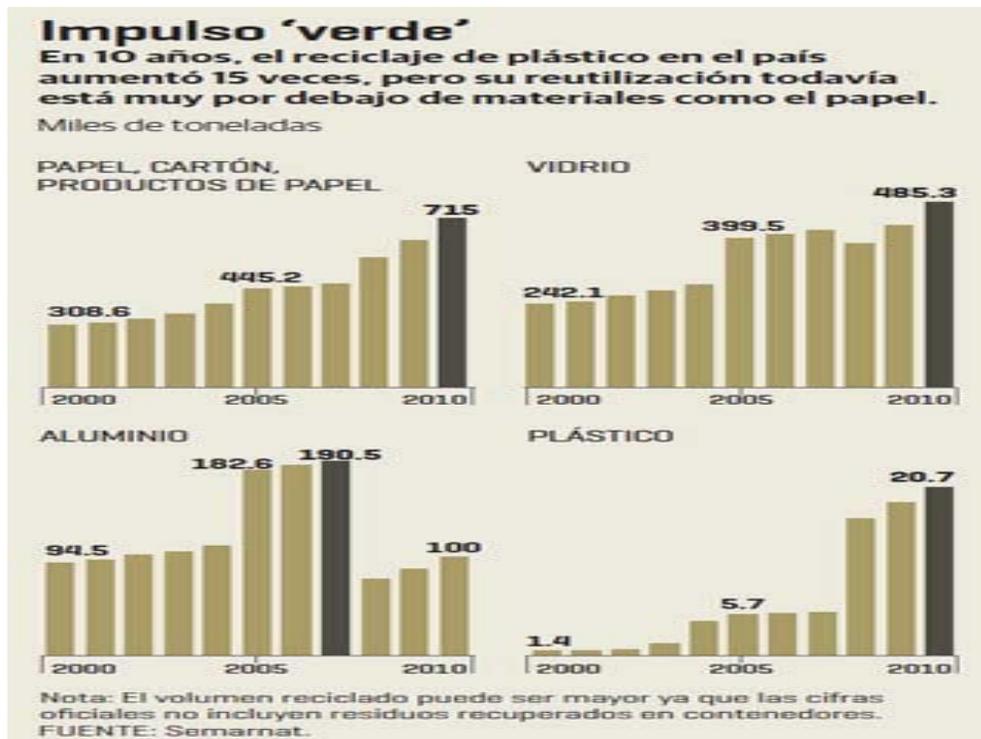


Figura 1. Plástico reciclado contra otros mercados de reciclaje. Fuente: Semarnat.

Debido a los niveles actuales de desempleo, muchas personas que no tienen un trabajo formal se están dedicando a la pepena y acopio de materiales de desecho (plástico, vidrio, cartón, aluminio, etc.). Familias enteras se dedican a este proceso de tiempo completo.

En buena medida, la industria del reciclaje está integrada por grandes compañías con procesos muy establecidos y con una gran inversión de capital, pero también por pequeñas empresas familiares que trabajan en sus propias casas acopiando materiales y dando un valor agregado incipiente al plástico recolectado. Instalan molinos de fabricación casera y procesan ahí mismo el plástico para luego ser vendido a empresas más grandes.

Para ejemplificar, en la figura 2 se ilustra la cadena de valor que hay en el reciclaje de 1 kg de PET y que puede ser equiparada con 1 kg de PEAD, PP, etc.



Figura 2. Cadena de valor del PET. Fuente: Semarnat.

Resulta evidente que el eslabón menos favorecido en esta cadena es el pepenador que acopio las botellas una vez que son consumidas por los usuarios finales de productos. El volumen recolectado es un factor clave para fijar el precio de venta al siguiente eslabón de la cadena, en la medida en la que el volumen es menor, el precio pagado al pepenador también es menor.

Los acopiadores (personas que compran directamente a los pepenadores),

obtienen una mayor utilidad al reunir volúmenes importantes que pueden vender a los recicladores, de tal manera que incrementan el precio entre 4 y 5 veces respecto de lo que pagaron por el producto. Su único valor agregado es ser concentradores del volumen.

Finalmente, los recicladores transforman el producto adquirido, haciendo una selección del mismo, moliéndolo, lavándolo y pelletizándolo para ser reintroducido a alguna de las industrias que necesitan plásticos reciclados en sus procesos. Nuevamente el precio de venta se cuatriplica con respecto del precio obtenido por los acopiadores.

Adicionalmente, los productores de diversas aplicaciones que están buscando abatir sus costos de producción, utilizan cada vez más materiales reciclados que les permiten mantener una buena calidad, mezclándolos con materiales vírgenes y a la vez ofrecer al mercado mejores precios en sus productos para ser más competitivos.

El área de oportunidad que se propone explotar es el reciclado del polipropileno (PP), ya que es uno de los plásticos más usados a nivel mundial y su reciclaje no está tan competido como el del PET.

En el transcurso de este trabajo se ahondará sobre los procesos de producción de PP, las particularidades de este material, sus procesos de reciclado, las tecnologías existentes, los mercados potenciales, sus usos más comunes, la inversión necesaria y los retornos de inversión alcanzables para un proyecto de esta naturaleza.

3.0 Introducción a los plásticos.

3.1 Generalidades de los plásticos.

Plásticos es una palabra que deriva del griego "Plastikos" que significa "capaz de ser moldeado", sin embargo, esta definición no es suficiente para describir de forma clara a la gran variedad de materiales que así se denominan.

Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico formadas por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural. Es posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión.

Los plásticos son parte de la gran familia de los polímeros (palabra de origen latino que significa poli – muchas y meros – partes), de los cuales se derivan también otros productos como adhesivos, recubrimientos y pinturas.

3.2 Breve historia de los plásticos.

El interés de las primeras síntesis hechas por los científicos fue la obtención de sustitutos de macromoléculas naturales, como el caucho y la seda; sin embargo, desde entonces y hasta la fecha se ha desarrollado una vasta tecnología que ahora produce cientos de compuestos que no tienen semejantes naturales y comprenden compuestos poliméricos como elastómeros, fibras y plásticos.

Se puede decir que la primera resina semisintética fue el hule vulcanizado, obtenida por Charles Goodyear en 1839 al hacer reaccionar azufre con la resina natural caliente. El producto obtenido resultó ser muy resistente a los cambios de temperatura y a los esfuerzos mecánicos.

El siglo XX puede considerarse como el inicio de "la era del plástico", ya que en esa época la obtención y comercialización de los plásticos sintéticos fue continuamente incrementada y el registro de patentes se presentó en número creciente. La consecución de plásticos sintéticos se originó de la química orgánica que se encontraba entonces en pleno auge.

En 1920 se produjo un acontecimiento que marcaría la pauta en el desarrollo de materiales plásticos. El químico alemán Hermann Staudinger (Premio Nobel en 1953) aventuró que éstos se componían en realidad de moléculas gigantes o macromoléculas. Los esfuerzos dedicados a probar esta afirmación iniciaron numerosas investigaciones científicas por parte de muchos laboratorios de universidades y grandes industrias químicas, que concentraron sus esfuerzos en el desarrollo de nuevos plásticos, aprendiendo las técnicas para encausar y dirigir casi a voluntad las reacciones químicas, que produjeron enormes avances en esta área del conocimiento.

En 1953, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno y en 1954 el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, que son dos de los plásticos más utilizados en la actualidad. En 1963, estos dos científicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios acerca de los polímeros.

Durante todo el siglo XX, los descubrimientos y avances en los procesos de obtención de estos materiales fueron constantes. La gran variedad de plásticos con los que se cuenta en la actualidad y sus múltiples aplicaciones permitieron el surgimiento de un sinnúmero de empresas que hoy se dedican a satisfacer las necesidades actuales del ser humano.

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

3.3 Clasificación de los plásticos de acuerdo a su comportamiento a la temperatura.

Con base en este criterio, los polímeros se clasifican en termoplásticos, termofijos y elastómeros.

a) Termoplásticos.

Consisten en macromoléculas lineales o ramificadas, unidas unas con otras mediante fuerzas intermoleculares. Los termoplásticos se caracterizan por transformarse de sólido a líquido y viceversa por acción del calor.

En estado sólido pueden deformarse permanentemente después de aplicarles una fuerza, esto se debe a que sus macromoléculas están libres o sueltas unas de otras y pueden deslizarse entre sí. A temperatura ambiente pueden ser blandos o duros, frágiles y rígidos. Su comportamiento se deriva de la misma estructura molecular, ya que las moléculas tienen forma de cadena abierta o de hilos.

La capacidad de los termoplásticos de reblandecerse o fundirse tiene sus ventajas y desventajas. Por ejemplo, pueden moldearse por calor, es decir, una lámina o un tubo pueden pasar a un estado elástico, similar al de la goma blanda, y adquirir nueva forma después de enfriarla en un molde. Además, los termoplásticos pueden soldarse y sus desechos son reciclables.

Las desventajas consisten en que el reblandecimiento provocado por el calor limita en gran manera sus temperaturas de uso, sobre todo cuando se someten a la acción simultánea de fuerzas mecánicas. Los termoplásticos se subdividen en amorfos y semicristalinos.

i) Amorfos.

Los termoplásticos amorfos se caracterizan por que sus moléculas filamentosas y ramificadas están en completo desorden, este arreglo molecular permite el paso de la luz, razón por la cual los plásticos amorfos son transparentes o translúcidos generalmente.

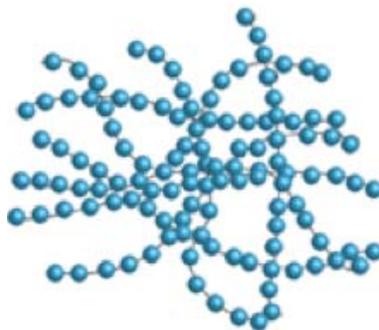


Figura 3. Termoplástico Amorfo.

ii) Semicristalinos.

El orden molecular de los plásticos semicristalinos es relativamente bueno. En él se aprecia cierto paralelismo de todos los filamentos moleculares y sus ramificaciones más cortas.

El ordenamiento de los tramos de macromoléculas paralelas equivale al ordenamiento de átomos o moléculas en forma de cristales, los cuales se oponen al paso de la luz provocando una apariencia lechosa o translúcida.

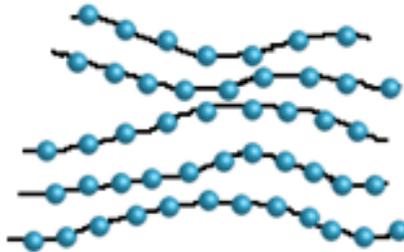


Figura 4. Termoplástico Semicristalino.

b) Termofijos.

Los plásticos que se mantienen rígidos y sólidos a temperaturas elevadas se denominan termofijos. Están reticulados en todas direcciones y debido a su estructura no son modificables plásticamente, son infusibles y resisten altas temperaturas, no pueden ser disueltos y muy raramente se hinchan.

A temperatura ambiente, los materiales termofijos generalmente son duros y frágiles. Debido a que no se funden, no son reciclables.

Un esquema de cómo se arreglan las moléculas en este tipo de plásticos se muestra en la siguiente figura.

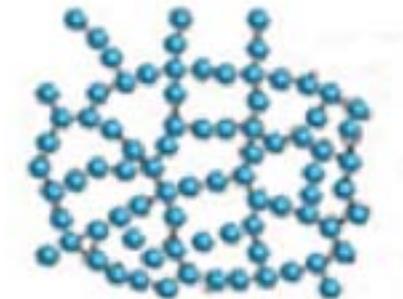


Figura 5. Termofijo o termoestable.

c) Elastómeros.

Son materiales elásticos que recuperan casi totalmente su forma original después de liberar una fuerza sobre ellos. Son insolubles y no se pueden fundir mediante la aplicación de calor, es decir, pueden descomponerse químicamente cuando se calientan más allá de su temperatura máxima de servicio.

El comportamiento de estos materiales se debe a que las macromoléculas de los elastómeros, en contraste con las de los termoplásticos, están entrecruzadas por enlaces químicos.

Los elastómeros se producen a partir de formulaciones que incluyen gran variedad de ingredientes que se mezclan para formar un compuesto. Estos compuestos generalmente son masas viscosas y pegajosas porque utilizan al elastómero sin curar.

Durante la vulcanización o reticulación, las cadenas moleculares del polímero se unen mediante enlaces químicos amplios. El desperdicio de los productos reticulados, en términos prácticos, no puede ser reciclado.

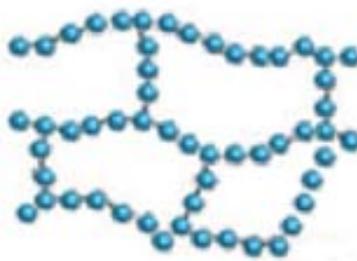


Figura 6. Elastómero.

4.0 Características, estructura y propiedades del Polipropileno.

4.1 Historia.

El polipropileno comenzó a comercializarse en el mundo en 1957, actualmente y de acuerdo a su consumo ocupa el segundo lugar a nivel nacional considerando al polietileno de alta y baja como un solo polímero. El mayor uso de este material era en el sector de rafia para la elaboración de costales para azúcar, granos y otros productos alimenticios, en películas para botanas, chocolates, dulces, productos secos, carnes frías. Debido a la gran demanda de éste, la construcción de la primera planta se dio en 1989 y, en 1992, comenzó su producción y comercialización formal en el país.

Debido a que la estructura del polipropileno homopolímero es semicristalina, no permite el paso de la luz libremente, es decir, que al no ser transparente, su aplicación en el mercado de empaque y envase estaba limitada. Por este motivo

los fabricantes del polímero desarrollaron el polipropileno “random” clarificado que combina las propiedades del polipropileno normal con una excelente transparencia.

Para las necesidades de la industria automotriz, surge una mezcla de polipropileno con un leve monómero de etileno-propileno-dileno (EPDM), que fue nombrado hule termoplástico (TPO). El TPO presenta propiedades similares a las del hule como mayor resistencia al impacto, hidrocarburos y gasolinas, con la ventaja de poderse procesar como un termoplástico.

En 1976 Hans Sinn y Walter Kaminsky de la Universidad de Hamburgo, descubrieron que un metaloceno podía actuar como catalizador eficiente en la polimerización del etileno. Debido a que el interés en el área del polipropileno no había decaído y se necesitaba un catalizador en donde se ejerciera un control completo, los trabajos de metalocenos siguieron orientados a esta área. En 1984 Kaminsky y Hans Britzinger de la Universidad de Constanza, Alemania, obtuvieron metalocenos de alta actividad química y selectividad. Algunos se especializaron para producir polipropileno isotáctico y otros para polipropileno sindiotáctico.

El polipropileno se convierte en una familia de grados puros y modificados:

- Polipropileno homopolímero.
- Polipropileno copolímero impacto.
- Polipropileno copolímero “random”.
- Polipropileno modificado.

Así surgieron grados modificados que contienen cargas como fibra de vidrio, carbonato de calcio, talco o mica que hacen del polipropileno, un excelente material en piezas de ingeniería y electrodomésticos, presentando menor costo que el ABS, el nylon y el poliéster termoplástico.

4.2 Materias primas para la obtención del polipropileno.

La materia prima para la polimerización del polipropileno es el propileno, que se obtiene como subproducto a partir de la refinación del petróleo o gas natural. El propileno o propeno, es un gas incoloro en condiciones normales de temperatura y presión, licúa a -48°C .

El polipropileno es un termoplástico semicristalino, que se produce polimerizando propileno en presencia de un catalizador estéreo específico. El polipropileno tiene múltiples aplicaciones, por lo que es considerado como uno de los productos termoplásticos de mayor desarrollo en la actualidad. Es un producto inerte, totalmente reciclable, su incineración no tiene ningún efecto contaminante, y su tecnología de producción es la de menor impacto ambiental. Esta es una característica atractiva frente a materiales alternativos.

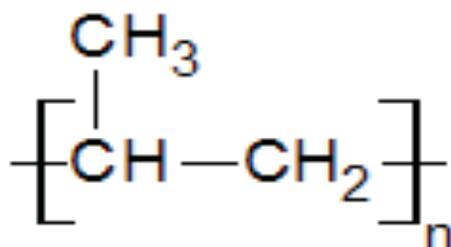


Figura 7. Molécula de polipropileno.

La polimerización catalítica del propileno fue descubierta por el italiano Giulio Natta en 1954, siguiendo los trabajos elaborados por Karl Ziegler en Alemania, y marcó un notable hito tanto por su interés científico, como por sus importantes aplicaciones en el ámbito industrial. Empleando catalizadores selectivos, se obtuvo un polímero semicristalino formado por la alineación ordenada de moléculas de monómero de propileno de estructura muy regular denominado isotáctico. Los altos rendimientos de reacción permitieron su rápida explotación comercial. Aunque el polipropileno fue dado a conocer a través de patentes y publicaciones en 1954, su desarrollo comercial comenzó en 1957 gracias a la empresa italiana Montecatini. Pocos años más tarde, otras empresas, entre ellas I.C.I. y Shell fabricaban también dicha poliolefina.

Este descubrimiento impulsó la investigación de los sistemas catalíticos estereoespecíficos para la polimerización de olefinas y le otorgó a Natta, junto al alemán Karl Ziegler, el premio Nobel de química en 1963.

Este material también se conoció como polipropileno homopolímero y a pesar de que tenía excelentes propiedades físicas, no cubría otras como resistencia al impacto. En la década de los sesentas se desarrolló un polipropileno copolímero, formado por etileno y propileno que tiene mayor resistencia al impacto y mantiene las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas de un homopolímero, contando con un mayor campo de aplicación; sin embargo, la aparición de nuevos productos así como la sustitución de madera, metal y vidrio no se detuvieron, por ello el polipropileno tuvo que mejorar aún más sus propiedades mecánicas.

4.3 Clasificación por contenido de materias primas.

Existen dos tipos de polipropileno: homopolímero y copolímero. Los primeros tienden a ser frágiles a bajas temperaturas debido a su alta temperatura de transición (Tg) de -20 °C.

Los copolímeros son más resistentes, se obtienen a partir de la copolimerización del propileno con pequeñas cantidades de etileno, butilo o elastómeros de etileno-propileno.

a) Homopolímero.

El polipropileno se sintetiza a partir del monómero de propileno bajo condiciones controladas de presión y temperatura, en presencia de un catalizador organometálico, tricloruro de titanio. El homopolímero se produce en diferentes grados de índice de fluidez y de distribución de pesos moleculares. Los homopolímeros que poseen un índice de fluidez de 2 a 5 g/10 min, corresponden a los grados para rafia y película. Al reforzar al propileno con: fibra de vidrio, carbonato de calcio y talcos, se incrementan sus propiedades mecánicas, térmicas y físicas y si se acondiciona con agentes nucleantes se eleva su transparencia.

b) Copolímero Impacto.

Para la elaboración del copolímeros, el propileno reacciona con etileno y un catalizador de tercera o cuarta generación y se polimeriza. De esta forma, se obtiene un polímero de tipo impacto, que es una de las propiedades más sobresalientes de este material. Para incrementar la resistencia se adiciona EPDM, que es un hule de etileno-propileno-dieno perteneciente a la familia de las olefinas. Los proveedores ofrecen una extensa gama de grados de impacto de acuerdo al porcentaje de EPDM adicionado.

c) Copolímero Random.

Si durante el proceso de obtención del polipropileno homopolímero, se adiciona de 1.5 a 3.5 % de etileno y un catalizador menos estereoespecífico, pero más activo para obtener una mayor cantidad de polipropileno atáctico, la combinación de polipropileno isotáctico, atáctico y etileno, origina un copolímero al azar que se conoce como "polipropileno random". En este caso la adición de etileno se lleva a cabo en forma aleatoria.

4.4 Clasificación por estructura química.

El polipropileno fabricado de manera industrial es un polímero lineal, cuya espina dorsal es una cadena de hidrocarburos saturados. Cada dos átomos de carbono de esta cadena principal, se encuentra ramificado un grupo metilo (CH_3). La estéreo-regularidad en las cadenas lineales, depende del orden en que estén colocados los grupos metilo laterales, así como del catalizador y proceso de polimerización usado, esto permite distinguir tres formas isómeras del polipropileno a lo que se le denomina tacticidad y se clasifica de la siguiente manera en:

- Isotácticos
- Sindiotácticos
- Atácticos

a) Resistencia a la tensión.- el polipropileno tiene un valor medio en comparación con los demás termoplásticos, la ventaja es que su resistencia se incrementa considerablemente durante el proceso de fabricación de películas, rafia y cuerdas. Dentro de los tipos comerciales, a medida que aumenta la cantidad de material isotáctico, aumenta la cristalinidad, el punto de reblandecimiento, la rigidez, la resistencia a la tracción, el módulo de tensión y la dureza, a pesar de que siempre existe polímero atáctico, como subproducto que no se logra separar y se encuentra presente por debajo del 5%.

b) Elongación.- El polipropileno tiene una excelente elongación, la cual fluctúa entre 400 y 430%, al utilizar cargas de 300 a 400 kg/cm², lo que justifica el amplio uso de este material en la fabricación de películas, y que hace posible su estiramiento en dirección máquina (MD) y transversal (TD). Para rafia y cuerdas, solamente se hace estiramiento en dirección máquina, que es de seis a ocho veces mayor del tamaño inicial, produciéndose piezas de alta resistencia a la tensión.

c) Resistencia al impacto.- La resistencia al impacto del polipropileno es de 6.80 a 8.16 kg·cm/cm y por esta propiedad se emplea para fabricar carcasas de electrodomésticos, gabinetes, portafolios, aspas para lavadoras y botellas.

d) Resistencia a la flexión.- el polipropileno es un material semirígido, su resistencia es de 600 kg/cm², se utiliza en la fabricación de carcasas de aparatos, cajas y contenedores de alimentos.

e) Módulo de flexión.- Es una medida de la rigidez del material. La presencia de los grupos metílicos en el polipropileno, proporcionan una mayor rigidez con respecto al polietileno, incluso por encima de los 100°C; se utiliza en la manufactura de popotes, cerdas para escoba y tapas con bisagra integrada.

f) Resistencia a la compresión.- Esta propiedad indica la carga que soporta un plástico antes de deformarse. El polipropileno presenta un valor de 500 kg/cm², se utiliza en la inyección de sillas y soportes para muebles.

4.7 Propiedades térmicas.

a) Temperatura de reblandecimiento Vicat.- El polipropileno presenta resistencia a la temperatura por períodos cortos sin deformarse en temperaturas por encima de 140°C, puede ser esterilizado con rayos gamma y óxido de etileno. Por otro lado, en el proceso de metalizado se manejan elevadas temperaturas que el material soporta sin deformarse. Haciendo una comparación, la temperatura de reblandecimiento del polietileno de baja densidad es de 86°C, del polietileno de alta densidad de 127°C y del polipropileno de 140°C; debido a su elevado punto de fusión de 175°C proporciona muy buena resistencia térmica, lo que permite su uso en productos que requieren esterilización o pasteurización por calor como lo

son las jeringas desechables o envases para alimentos, por ejemplo para mermeladas.

b) La temperatura de deformación bajo carga HDT.- El polipropileno a 110°C soporta 4.5 kg/cm², se utiliza en la fabricación de piezas mecánicas como engranes, cafeteras eléctricas y freidoras. Con una temperatura de 55°C soporta una carga de 18.5 kg/cm², pero si se refuerza con cargas como fibra de vidrio, talco o carbonato de calcio, la temperatura aumenta hasta 150°C. Se emplea para fabricar tableros automotrices, parrillas para auto y piezas mecánicas.

c) Conductividad térmica.- El polipropileno presenta un valor muy pequeño de conductividad, ya que el calor que absorbe lo transmite lentamente; esto se refleja en ciclos más largos de enfriamiento durante su transformación.

d) Resistencia al calor continuo.- Es la capacidad que presentan los plásticos para soportar elevadas temperaturas libres de esfuerzos mecánicos. De los plásticos commodities y el ABS, el polipropileno es el material que más resistencia posee, y se utiliza en la inyección de acumuladores para automóvil.

e) Calor específico.- Es la cantidad de calor que se necesita para elevar 1°C la temperatura del material por unidad de peso. El polipropileno presenta un valor elevado de calor específico, consumiendo más energía para su transformación y enfriamiento.

4.8 Propiedades ópticas.

El polipropileno por naturaleza es traslúcido y su transmitancia es de 70 a 75%. A pesar del valor bajo, las piezas moldeadas de este material sin pigmentar presentan mayor transparencia que las fabricadas a base de polietileno de alta densidad.

Esto se debe a que existe menor densidad de las zonas amorfas y cristalinas del polipropileno, cuya densidad es 0.85 g/cm³ y para el polietileno es de 0.94 g/cm³.

A pesar de poseer una transmitancia pobre, esta pasa a valores de 90 a 92% en el caso de película cuando se biorienta y de 87 a 90% en recipientes soplados cuando se emplean agentes clarificantes.

4.9 Propiedades eléctricas.

La constante dieléctrica es la capacidad de los materiales plásticos para almacenar la energía dentro de ellos.

El polipropileno es un material que casi no acumula energía, puede ser utilizado en circuitos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, al compararlo con el polietileno,

el polipropileno presenta dos desventajas:

- Químicamente, el cobre y otros metales catalizan la descomposición, que resulta más fácil en los carbonos terciarios.
- Se vuelve frágil a temperaturas de -10°C .

A continuación, se muestran las propiedades más importantes del polipropileno, comparadas con el polietileno.

Propiedades	Unidades	PEBD	PEAD	PP
Densidad	g/cm^3	0.92 - 0.93	0.94 - 0.96	0.90 - 0.91
Cristalinidad	%	60 - 65	80 - 90	60 - 80
Resistencia a la tensión	kg/cm^2	100 - 170	210 - 380	300 - 400
Elongación	%	500 - 725	100 - 200	500 - 700
Módulo elástico	$1 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	1.2 - 2.6	5.6 - 10	11 - 18
Resistencia a la flexión	$1 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	---	1.0 - 1.2	---
Dureza (shore)		40 - 45 D	60 - 70 D	85 - 95 R
Conductividad térmica	$1 \times 10^4 \text{ Cal cm/seg cm}^2$	8	11 - 12.5	3.3
Temperatura de reblandecimiento (Vicat)	$^{\circ}\text{C}$	80 - 90	120 - 130	140 - 160
Temperatura de fusión	$^{\circ}\text{C}$	110 - 115	130 - 140	170 - 175
Moldeo por inyección		190 - 240	220 - 280	230 - 290
Extrusión		150 - 160	170 - 220	200 - 230
Contracción de moldeo	%	1 - 2	1 - 3	1.8

Tabla 1. Propiedades del polipropileno contra otros polímeros. Fuente: IMPI (Aguilera 1997).

Debido a que en algunas propiedades el polietileno y el polipropileno se asemejan, se pueden emplear indistintamente en algunos artículos. Pero se utiliza polipropileno cuando se requiere cierta resistencia a la temperatura, por ejemplo, para fabricar lavavajillas que estarán en contacto con agua hirviendo.

4.10 Propiedades químicas.

En general presenta excelente resistencia química, aunque es sensible a la degradación por oxidación con calor o radiación UV, pero puede protegerse con aditivos adecuados.

Presenta excelente resistencia a los ácidos y bases fuertes o débiles; sólo lo ataca el ácido nítrico concentrado por encima de los 80°C . Poco solventes orgánicos pueden disolverlo a temperatura ambiente.

A continuación se enlistan algunos productos químicos y el cambio que ocasionan en el material.

Producto Químico	Cambio
Acetona	No
Acido Acético (5%)	Ligera decoloración
Acido Fosfórico (conc.)	No
Acido Sulfúrico (30%)	No
Cloruro Férrico (10%)	No
Etanol	No
Formaldehído	Ligero amarillamiento
Gasolina	Hinchamiento
Hidróxido de sodio (10%)	No
Tolueno	Ligera decoloración

Tabla 2. Cambios en el polipropileno con diferentes productos químicos. Fuente: IMPI (Aguilera 1997).

En condiciones de trabajo con temperaturas altas y con presencia de sustancias químicas corrosivas, se utiliza polipropileno, en lugar de polietileno, ya que el primero no sufre fisuración bajo la acción de estos agentes.

Presenta una moderada rigidez y tenacidad por lo que se clasifica como un plástico semirrígido. Su resistencia a la abrasión es particularmente buena en comparación con el polietileno.

5.0 Procesos de producción de polipropileno.

El polipropileno se obtiene por los siguientes procesos de polimerización:

- a) Suspensión
 - Diluyente Nafta
 - Diluyente Alcohol Etílico
- b) Masa
 - Gaseosa
 - Líquida

5.1 Polimerización con diluyente nafta.

Este proceso es el más antiguo, se lleva a cabo mediante la alimentación al reactor de propileno, un catalizador Ziegler-Natta y nafta como medio de reacción.

Esta se realiza a 60 °C durante ocho horas, obteniéndose una conversión de 80 a 85%. Al finalizar la polimerización se obtiene: polímero isotáctico, polímero atáctico y materia prima sin reaccionar.

Estos productos se someten a un proceso de separación donde se encuentra el polipropileno isotáctico en mayor cantidad que el polipropileno atáctico.

5.2 Polimerización con diluyente alcohol etílico.

Este tipo de polimerización se lleva a cabo mediante la alimentación de propileno, un catalizador tipo organometálico y alcohol etílico como disolvente a un reactor. Éstos reactivos se mezclan y se polimerizan a presión y temperatura elevadas, el tiempo de residencia es de 16 a 24 horas, dependiendo de la cantidad de disolvente empleado, por ser el que elimina el calor de polimerización y remueve el residuo que deja el catalizador. Después de la reacción, el producto obtenido pasa a un tanque de descarga, donde se evapora el monómero dejando al polímero para que se lave y empaque, alcanzando eficiencias de 92 a 94%.

5.3 Polimerización en masa gaseosa.

Surge en 1983 y es el más reciente desarrollo tanto por su tecnología como por el tipo de catalizador. Al catalizador utilizado se le conoce como de tercera y cuarta generación, es más estereoespecífico, tiene un mejor control del tamaño de partícula y de la cantidad de polipropileno isotáctico. Con este proceso se logra obtener un mayor grado de pureza, así como estructuras en bloque con las que se producen tipos especiales como el copolímero impacto.

En este proceso se utilizan dos reactores en serie:

- El primer reactor se alimenta con gas propileno, catalizador de tercera y cuarta generación y otras sustancias químicas; así, por medio de la polimerización se obtiene el grado homopolímero.
- Para el grado copolímero, en el primer reactor se efectúa una prepolimerización. Una mezcla que aún contiene catalizador activo se transfiere a un segundo reactor, en donde se combina con gas etileno y se termina la relación con ayuda de presión y temperatura, generándose un copolímero impacto.

Una vez efectuada la reacción, la resina pasa a un tanque de descarga donde se desactiva y se desgasifica. Posteriormente, se transporta a un último tanque para purificarlo y pelletizarlo.

Este proceso no utiliza disolventes, lo cual ayuda a tener tiempos de residencia de cuatro horas, que anteriormente eran de seis horas, con un mejor control de las propiedades del producto, alcanzándose eficiencias hasta del 99%.

El 60% de la capacidad de producción del polipropileno se obtiene por fase gaseosa.

5.4 Polimerización en masa líquida.

El monómero de propileno se polimeriza fácilmente en masa, empleando propileno líquido. Este proceso conocido como Spheripol, licenciado por la compañía Himont, es económico, confiable y capaz de producir un amplio intervalo de productos de polipropileno.

El proceso en masa, tiene la ventaja de proporcionar mayor actividad de polimerización debido a la alta concentración de monómero, eliminando la purificación del diluyente usado en los procesos de suspensión más antiguos.

El proceso incluye la preparación del catalizador, que se encuentra en forma de polvo y se dispersa en un medio viscoso antes de ser procesado. Un donador y co-catalizador, se alimentan junto con la corriente de propileno líquido al primer circuito de polimerización. El contenido del reactor es circulado continuamente por medio de una bomba y de éste, pasa al segundo circuito de polimerización.

El tiempo de residencia es de dos a tres horas a una temperatura de 70 °C y una presión de 35 kg/cm². El propileno polimeriza en presencia del catalizador, para producir moléculas extremadamente largas y estables.

La suspensión, en el segundo circuito de polimerización, fluye hacia un tanque flash donde se vaporiza el propileno y se separa el polímero por un filtro. La corriente de polímero pasa a un vaporizador que descompone los residuos catalizador y donador, eliminando el propileno remanente en el polímero. El polímero se descarga del vaporizador hacia un secador y pasa a la sección de aditivación o extrusión, para obtener el producto final.

5.5 Capacidad instalada mundial y por regiones.

De acuerdo a la información estadística del 2014, publicada por parte de la compañía IHS (líderes mundiales en proveeduría de información estadística y de mercados), la capacidad instalada mundial de polipropileno asciende a 69.2 millones de toneladas métricas, mientras que para el año 2009 la capacidad instalada mundial de este producto era de 55.1 millones de toneladas, por lo tanto, el crecimiento de la capacidad en 5 años representa 25.6%, es decir, una tasa anual de crecimiento compuesto de 4.7% anual sostenido. Para el año 2019 se proyecta que la capacidad instalada mundial ascenderá a 85.8 millones de toneladas, creciendo a un ritmo anual de 4.4%.

La información estadística mundial de capacidades instaladas por zona geográfica puede verse en la siguiente tabla. Del año 2009 al 2014 la información es real y del 2015 al 2019 la información es proyectada.

World POLYPROPYLENE Average Annual Capacities (-000,000- Metric Tons)											
REGION	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
North America	8.983	8.959	8.938	8.691	8.691	8.691	8.691	8.691	8.691	9.061	9.061
South America	3.040	3.090	3.150	3.004	3.004	3.004	3.004	3.004	3.004	3.004	3.004
West Europe	10.110	9.675	9.552	9.510	9.510	9.510	9.510	9.510	9.510	9.510	9.510
Central Europe	1.420	1.420	1.420	1.420	1.420	1.420	1.420	1.420	1.420	1.420	1.420
CIS & Baltic States	810	850	850	895	1.155	1.530	1.530	1.640	1.640	2.220	2.470
Middle East	5.771	6.959	7.834	7.934	8.234	8.274	9.194	9.194	9.194	9.194	9.574
Africa	977	1.077	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377	1.377
Indian Subcontinent	2.795	3.487	3.700	3.700	4.140	4.140	4.975	5.014	5.115	5.115	5.115
Northeast Asia	17.218	19.645	21.083	22.658	24.059	25.953	30.111	32.870	35.765	37.427	38.475
Southeast Asia	4.005	4.474	5.271	5.271	5.507	5.344	5.444	5.444	5.629	5.814	5.814
WORLD	55.129	59.636	63.175	64.460	67.097	69.243	75.256	78.164	81.345	84.142	85.820

Tabla 3. Capacidad instalada mundial de polipropileno por región. Fuente Cía. IHS.

Puede apreciarse que el crecimiento en volumen más fuerte de capacidades se da en la región del Noreste de Asia, que incluye a China, Japón, Corea del Sur y Taiwan, donde China es el país con mayor capacidad instalada de la zona con un total de 14.3 millones de toneladas y proyectando un crecimiento para el 2019 de 107% para alcanzar 29.7 millones de toneladas.

La capacidad instalada de Norteamérica se muestra en la siguiente tabla, así como las empresas productoras de polipropileno y los estados de la región donde se localizan sus plantas.

Compañía (-000- Metric Tons)	CA	LA	MI	NJ	PA	Tam	TX	WV	Total
Braskem PP Americas					350		825	240	1,415
Conoco Phillips				116					116
Exxon Mobil		405					825		1,230
Flint Hills Resources			85				340		425
FPC USA							869		869
Indelpro						590			590
Ineos	200						585		815
Lyondell Basell		642					775		1,417
Phillips 66				234					234
Pinnacle Polymers		430							430
Total PC							1,180		1,180
Total	200	1,477	85	350	350	590	5,399	240	8,691

Tabla 4. Capacidad instalada de polipropileno para Norteamérica. Fuente Cía. IHS.

Para el año 2014, Norteamérica representa el 12.6% de la capacidad instalada mundial con 8.7 millones de toneladas, esto incluye a Estados Unidos y a México,

ya que Canadá no tiene plantas productoras de polipropileno. De esta cifra, México tiene solo 590 mil toneladas instaladas en Altamira a través de la empresa Indelpro, es decir, el 0.9% de la capacidad instalada mundial o el 6.8% de la capacidad instalada de la región.

6.0 Procesos de transformación y aplicaciones del polipropileno.

A partir de los procesos industriales se pueden preparar un sin fin de productos de polipropileno diferentes, cuyas propiedades varían según la longitud de las cadenas del polímero (peso molecular), de su polidispersidad, de los comonomeros eventualmente incorporados, etc. Estas características básicas definen las propiedades mecánicas del material y sus aplicaciones finales. Literalmente se habla de diferentes tipos o grados de polipropileno.

Las aplicaciones más importantes del polipropileno son: a) películas biorientadas utilizadas en el empaque de botanas, pastas, galletas y productos secos en general, b) fabricación de baldes, recipientes y botellas, así como sus respectivas tapas y etiquetas, c) fibras textiles para bajo alfombras, rafias para la confección de costales, cuerdas y cabos marinos, d) cintas adhesivas y ornamentales, pañales, y toallas higiénicas, juguetes y hasta ropa, así como diversos artículos moldeados por inyección para la industria automotriz como carcasas de baterías y depósitos de aceite.

Para el sector doméstico se usa en recipientes y contenedores para alimentos, así como para la elaboración de muebles. Los grados modificados con cargas se emplean para aplicaciones de uso más rudo igualmente en industria automotriz y algunos aparatos electrodomésticos.

Gracias a sus características en estado fundido, el polipropileno puede ser moldeado por la mayoría de los diferentes procesos de transformación de plásticos, entre los cuales pueden destacarse:

- Moldeo por inyección.
- Moldeo por soplado.
 - Inyección-soplado.
 - Extrusión-soplado.
- Extrusión de películas planas y hojas.

6.1 Moldeo por inyección.

Este proceso consiste en la fusión del material, junto con colorantes o aditivos, para luego forzarlo bajo presión dentro de un molde. Este molde es refrigerado, el material se solidifica y el artículo final es extraído. Este método es usado para hacer muchos tipos de artículos, como por ejemplo frascos, tapas, muebles, cuerpos de electrodomésticos, aparatos domésticos y piezas de automóviles. El

polipropileno es apreciado por su fácil proceso y por sus excelentes propiedades finales, que incluyen baja densidad, alto brillo y rigidez, resistencia térmica y química, entre otras.

Una de las tendencias más firmes en la industria del moldeo por inyección actual es el diseño de piezas de espesores menores a los 0.8 mm, genéricamente conocidas como "de pared delgada". Trabajar en esos espesores aumenta la rentabilidad del proceso en dos direcciones perfectamente definidas. Por un lado disminuye el peso por pieza y por el otro, los tiempos de ciclo, incrementando de esta forma la productividad. Las principales aplicaciones de polipropileno en este campo se encuentran en artículos tales como copas de postre, envases de margarina, baldes de helado, entre otros. A modo de ejemplo, en ciclos de hasta 3 segundos es posible obtener potes de margarina de 250 cm³, de sólo 10 gr de peso y 0.4 mm de espesor.

Trabajar con espesores tan pequeños representa un desafío para el material, que debe conjugar un buen balance de propiedades mecánicas en estado sólido con buenas propiedades de flujo en estado fundido. El material, a su vez, debe asegurar una elevada rigidez y una buena resistencia al impacto. Por otro lado debe poseer una fluidez lo suficientemente elevada como para llenar un molde que le ofrece gran oposición al flujo.

6.2 Moldeo por soplado.

El polipropileno se emplea para la fabricación de recipientes pequeños tipo gotero, recipientes grandes de hasta 10,000 litros, botellas, tanques de vehículos y en general a objetos huecos. Los recipientes pequeños aprovechan su resistencia a elevadas temperaturas para ser llenados en caliente o esterilizarse, mientras que los recipientes grandes, utilizan las propiedades de barrera al oxígeno y resistencia a grasas, para envasar productos perecederos que requieren de una mayor protección al oxígeno y evitar su descomposición.

En la producción de recipientes de polipropileno, se emplean los procesos de extrusión-soplo para recipientes grandes y de inyección-soplo para pequeños. Las temperaturas de operación oscilan de 190 a 218°C para la extrusión-soplo y de 230 a 260°C para la inyección-soplo, sin embargo, dentro de estas condiciones pueden existir variaciones de acuerdo al tipo de material empleado.

a) Moldeo por inyección-soplado.

El moldeo por inyección-soplado consiste en la obtención de una preforma del polímero a procesar – párison –, similar a un tubo de ensayo, la cual posteriormente se calienta y se introduce en el molde cuya superficie interior corresponde a la exterior de la pieza moldeada, en ocasiones se hace un estiramiento de la preforma inyectada, después se inyecta aire, con lo que se

consigue la expansión del material y la forma final de la pieza, por último se procede a su extracción.

Para el rápido enfriamiento y solidificación de las piezas moldeadas, los moldes están provistos de canales de refrigeración diseñados de tal forma que el enfriamiento sea uniforme en todo el molde. Una vez enfriada la pieza, el molde es abierto y el artículo extraído. En muchas ocasiones es necesario modificar el espesor de la preforma, ya sea para conseguir una pieza con diferentes espesores o para lograr un espesor uniforme en toda la pieza, pues en la fase de soplado no se deforman por igual todas las zonas del material. La ventaja de usar preformas consiste en que estas se pueden inyectar y almacenar, producir diferentes colores y tamaños, los cuales pueden hacerse en lugares distintos donde se realizará el soplado. Las preformas son estables y pueden ser sopladas a velocidad alta según la demanda requerida.

El molde constituido de dos mitades, sujeta al tubo por la parte inferior en el momento de cerrar, de tal forma que el aire no pueda escapar, sellándose la parte del fondo de la pieza sin dejar rebaba. Para el rápido enfriamiento y solidificación de las piezas moldeadas, los moldes están provistos de canales de refrigeración diseñados de tal forma que el enfriamiento sea uniforme en todo el molde. Una vez enfriada la pieza, el molde es abierto y el artículo extraído.

b) Moldeo por extrusión-soplado.

El moldeo por extrusión-soplado es un proceso de soplado en el que la preforma es una manga tubular, conformada por extrusión, llamada párison. El molde constituido de dos mitades, sujeta al párison por la parte inferior en el momento de cerrar, de tal forma que el aire no puede escapar, sellándose herméticamente la parte del fondo de la pieza sin dejar rebaba. Posteriormente se sopla, se deja enfriar y se expulsa la pieza. Con este proceso se pueden obtener contenedores de hasta 10,000 litros de capacidad sin embargo no se consiguen tolerancias demasiado estrechas. Se puede controlar el espesor del tubo extruido si se requiere con un equipo auxiliar de boquilla variable. También se puede realizar la extrusión de forma discontinua para determinadas formas de trabajo, para ello se utiliza un equipo auxiliar, denominado acumulador, que dosifica la carga de polímero en una cámara.

6.3 Extrusión de películas planas y hojas.

Es un proceso por el cual un material termoplástico fundido se hace pasar a través de una boquilla, hilera o dado, continuamente al aplicarle presión y calor, con el fin de formar perfiles de longitud infinita; a su salida, el material ya conformado es recogido por un sistema de arrastre de velocidad variable que le proporciona las dimensiones finales mientras se enfría en tinas de agua para adquirir la forma deseada.

La extrusora consta de un cilindro o cañón en cuyo interior se aloja un husillo o tornillo de Arquímedes, que al ser accionado por un motor y una transmisión, gira y recoge el material de la tolva de alimentación avanzando a lo largo del cilindro y sometándose a esfuerzos de cizalla (corte) a la vez que se comprime en la zona de compresión, generando calor por efectos de fricción, el cual se mantiene mediante resistencias blindadas. El material se mezcla íntimamente y, a medida que es conducido a la zona de dosificación, se plastifica totalmente; de esta manera se ejerce una presión mayor a la entrada del dado que le da forma al extruido.

El proceso de extrusión se emplea normalmente para producir varillas, láminas, tubos, recubrimientos de cables, películas, en forma continua, y el material de partida puede ser granulado o en polvo. Por este proceso pueden ser obtenidos un sinnúmero de artículos continuos, entre los que se incluyen tubos, chapas, fibras, etc. Las películas son ampliamente empleadas en el embalaje de alimentos y otros artículos. Por definición se da el nombre de película al material con menos de 0.010 pulgadas de espesor, y el de hoja, al que es más grueso.

Para la extrusión de película plana se usan dados en forma de T cuyas aberturas de las boquillas pueden ser de 3, 15 o 30 milésimas de pulgada dependiendo del espesor deseado. La velocidad con que se embobina la película se rige por la fuerza que ejercen los rodillos tractores para estirla y adelgazarla hasta obtener el calibre deseado; los dados y las boquillas pueden ser tan anchos según los requerimientos que se tengan.

La película, al salir del extrusor puede enfriarse al pasar por un baño de agua fría o al ponerse en contacto con rodillos enfriados por agua; en este caso se llama colado o laminado de la película. El acabado de los rodillos, para este fin, debe ser al cromo y de alto pulido. Los bordes de la película se recortan mediante cuchillas colocadas en los lados del tren con el fin de quitar la parte ondulada y dar mejor apariencia en el acabado. La película producida de esta forma puede ser orientada posteriormente, obteniéndose una película más resistente. Otra aplicación muy común de esta película es la rafia, la película se corta en tiras y se estira en sentido dirección máquina, hasta poco antes de su máxima elongación. Las tiras que se obtienen, se tuercen para fabricar hilos, que al tejerlos originan costales, los cuales se utilizan para empacar sal, azúcar, productos industriales, detergentes, petroquímicos y alimentos.

El polipropileno también ofrece la cualidad de poseer memoria, esto significa que si se arruga o dobla, con el paso del tiempo regresa a su forma original. La memoria previene que las bolsas de botanas, cuando son transportadas y manipuladas, se maltraten en forma excesiva, pero representan un problema en el envasado de dulces, ya que el torcido de la película no se puede realizar. Es por ello que todas las envolturas de dulces de polipropileno llevan un sellado térmico para su cierre.

6.4 Mercado mundial de polipropileno y mercado en México.

Hoy en día el polipropileno es uno de los termoplásticos "commodities" más vendidos en el mundo, con una demanda anual estimada de más de 50 millones de toneladas a nivel mundial, de acuerdo a la información publicada por la compañía IHS. Sus incrementos anuales de consumo han sido cercanos al 6% durante los últimos años, confirmando su grado de aceptación en los mercados.

La buena acogida que ha tenido este material ha estado directamente relacionada con su gran versatilidad, sus buenas propiedades físicas y la competitividad económica de sus procesos de producción. Varios puntos fuertes lo confirman como material idóneo para muchas aplicaciones y así se tienen:

- Baja densidad
- Alta dureza y resistente a la abrasión
- Alta rigidez
- Buena resistencia al calor
- Excelente resistencia química
- Excelente versatilidad

Por la excelente relación entre sus prestaciones y su precio, el polipropileno ha sustituido gradualmente a materiales como el vidrio, los metales o la madera, así como polímeros de amplio uso general (ABS y PVC).

De acuerdo a la última información publicada por la ANIQ para el año 2012, en México, la producción de polipropileno fue de 399,219 toneladas, las cuales representan el 67.7% de utilización de la capacidad instalada del país. El resto del material que se consume proviene de la importación, principalmente de Estados Unidos, por un total de 651,794 toneladas.

El consumo aparente de polipropileno en México ascendió a 1,051,013 toneladas, teniendo un crecimiento de 16.2% respecto de 2008, donde el consumo fue de 904,846 toneladas, es decir, teniendo una tasa anual de crecimiento compuesto de 3.8%.

Para estimar un valor aproximado del mercado mexicano de polipropileno, se consultaron los precios promedio de 2012 del Chemical Market Associates, Inc. (CMAI), estos precios son los que se usan como referencia internacional por los grandes productores de la industria de los plásticos a nivel mundial. Dado que México es un país importador de esta materia prima, el precio que se utilizó para el cálculo del mercado es el precio promedio de homopolímero para exportación proveniente de los Estados Unidos, el cual fue de 80.1 cts usd/lb.

Considerando esta premisa, el valor aproximado del mercado mexicano de PP, ascendió a una cifra cercana a los 1,854 millones de dólares para el 2012.

7.0 Reciclado de plásticos.

Como se ha mencionado, el desarrollo de la industria del plástico ha contribuido a cambios y avances significativos de diversos sectores importantes como son: el automotriz, el industrial, las comunicaciones, los alimentos, el farmacéutico y el agrícola, entre otros, debido al reemplazo de materiales tradicionales tales como la madera, el papel, el vidrio y el metal. Estos cambios, en consecuencia, han modificado los hábitos de consumo de la población, propiciando el uso de una gran cantidad de materiales plásticos, que posteriormente se convierten en desechos representando un problema de contaminación.

Los resultados de varios estudios realizados señalan que los porcentajes en volumen de los constituyentes de un basurero son los siguientes:

- Materia orgánica 62%
- Papel y cartón 11%
- Material de construcción 1%
- Plásticos 9%
- Metal 3%
- Vidrio 2%
- Madera 1%
- Otros materiales 11%

Considerando los datos anteriores y los porcentajes expresados en volumen de los desechos sólidos que, en general, son iguales para cada basurero, México se encuentra en las mismas circunstancias que otros países del mundo, en el procesamiento de la basura, que de acuerdo con la capacidad y recursos con que cuente el país podrá reciclar sus diferentes plásticos que hoy en día se encuentran diseminados por dondequiera. En las grandes ciudades en donde el consumo de alimentos se hace de prisa en centros de comidas preparadas al minuto, utilizando empaque de poliestireno expansible, es de esperarse que los basureros estén llenos de este material, con tendencias cada vez mayores en pleno siglo XXI.

Las empresas reprocesadoras de plástico con que cuenta México, en su mayoría reciclan el plástico que tienen de desperdicio de sus propios procesos y en menor escala el plástico proveniente de los basureros.

7.1 Historia del reciclado.

Aunque no se cuenta con documentos sobre cómo y cuándo comenzó el reciclado de plásticos, probablemente en los inicios del desarrollo de la industria los transformadores empezaron a reciclar las piezas defectuosas que obtenían durante el proceso de producción y posteriormente determinaron que

mezclándolas en determinados porcentajes con material virgen se pueden obtener partes moldeadas de buena calidad.

En el año 1970, inició el desarrollo del reciclado de plásticos debido a que su precio comenzó a aumentar y, posteriormente, al desabasto de materiales como consecuencia del embargo petrolero de 1973.

Esta combinación de circunstancias propició el desarrollo de tecnologías de recuperación, para atender las necesidades de los consumidores y solucionar los problemas de abasto. Con el objetivo de encontrar soluciones para los desechos plásticos, se han desarrollado diversas investigaciones que incluyen métodos físicos y químicos.

Los métodos físicos consisten en sistemas para lavado y separación, molienda, fusión y granulado. Los métodos químicos no han prosperado fuera del laboratorio, como el proceso de pirólisis para aprovechar el poder calorífico de los materiales plásticos o los procesos de hidrólisis que sirven para depolimerizar las moléculas de plásticos, como el PET y el acrílico, y obtener sus materias primas originales.

Cuando se analizó el costo energético y productivo desde la extracción del crudo hasta su transformación final, se obtuvieron datos poco favorables para hacer de la incineración la solución que eliminara la basura plástica, creándose otras tecnologías que permitieran transformarla en una vida útil secundaria.

Considerando las ventajas de los métodos físicos, nace el reciclado de materias plásticas, que cobra gran importancia en los años ochentas, donde surgen mercados y aplicaciones como una opción de negocio.

En los noventas, se desarrollaron centros de acopio, en donde se recolectan sistemáticamente los diferentes materiales para facilitar su transformación posterior. Los desperdicios plásticos se vuelven a integrar a un ciclo, industrial o comercial, convirtiéndose en materias primas a través de procesos cada vez más especializados.

Reciclar significa "la circulación de materiales dentro de un sistema cerrado con el propósito de optimizar recursos, disminuir la generación de basura, propiciar la separación de desperdicios y reintroducir los mismos al sistema productivo para generar artículos útiles al hombre".

7.2 Razones para reciclar.

Los factores más importantes para reciclar plásticos son:

a) Ecología. Actualmente las normas ecológicas se han reestructurado siendo más estrictas para el control de los desechos plásticos. El reciclado de plásticos contribuye con la ecología, ya que ayuda a resolver el problema de los

desperdicios plásticos, se ahorra hasta el 88% de la energía que se requiere para producirlos a partir de petroquímicos y conserva los recursos naturales al reutilizar los productos del petróleo.

b) Economía. La generación de desperdicios es inevitable en la industria de la transformación de plásticos por lo que para no crear una pérdida económica las empresas reciclan las mermas combinándolas con material virgen. Estas mezclas ayudan a reducir el costo del producto, de acuerdo a los porcentajes que se utilicen, siempre y cuando no se afecten las características del artículo fabricado. El precio del material reciclado es menor que el virgen, con lo que el costo del producto se reduce y puede competir en el mercado.

c) Escasez. La industria de transformación de plásticos ha crecido considerablemente y además ha atravesado por varias crisis de materiales. Estos dos factores propician la escasez y desabasto de materias primas que origina buscar otras fuentes de abasto como los plásticos reciclados.

La secuencia de acciones para disminuir el problema que generan los materiales de corta vida útil se describe a través de la siguiente figura.

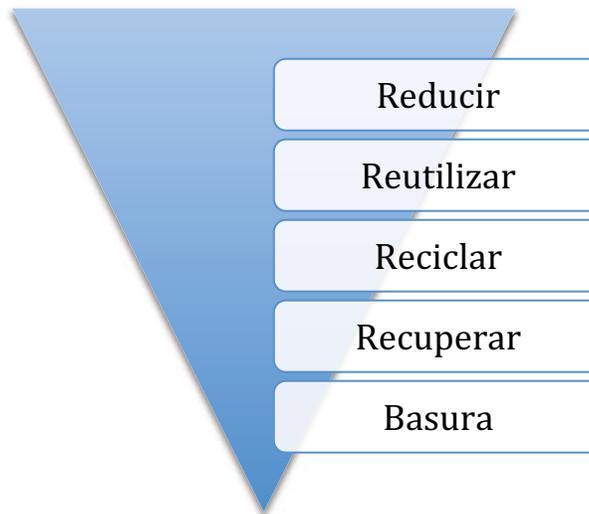


Figura 11. Acciones para tratar el problema de contaminación por plásticos.

a) Reducir significa utilizar la menor cantidad posible de materiales que se vayan a desechar. Con este propósito se han desarrollado plásticos más resistentes, aditivos y procesos que permiten fabricar productos más ligeros y de espesores menores con diseños ergonómicos. Por ejemplo, se han sustituido botellas rígidas por películas flexibles para contener líquidos con el objetivo de ocupar menores espacios en los centros de acopio y rellenos sanitarios.

b) Reutilizar es aprovechar al máximo la vida útil de los productos a través de sistemas de retornabilidad, como es el caso de las botellas para bebidas gaseosas y las cajas donde se transportan, así la empresa fabricante logra un control en el manejo de los productos terminados, disminuyendo el desperdicio y su impacto visual en la basura.

c) Reciclar es la tercera opción y se aplica una vez que los productos ya no pueden ser utilizados para su objetivo original. Sirve para obtener materia prima que será utilizada para fabricar artículos útiles para una segunda aplicación.

d) El concepto de recuperar se refiere al uso de métodos químicos o pirolisis para obtener materias primas o energía a partir de los desechos plásticos.

e) La última etapa en el tratamiento de desechos sólidos es la basura y solamente deberá ser utilizada cuando los productos hayan alcanzado su máximo uso y no se justifica su reciclamiento. Como puede observarse, en la actualidad la secuencia mostrada en la figura no se aplica, ya que el menor esfuerzo es la producción de basura.

7.3 Tratamiento de la basura.

En la actualidad la basura está constituida por desperdicios que mezclados pueden ser foco de contaminación para el entorno y para los seres vivientes, debido a que la descomposición de algunos materiales integrantes de la basura producen enfermedades y olores desagradables; sin embargo, los métodos aplicados para controlar la basura en todos sus ámbitos no han sido exitosos en su totalidad. En México, como en el mundo entero, se padecen enfermedades y contaminación de las aguas y suelo debido al control inadecuado que se da a los desechos que diariamente se producen. Para resolver estos problemas se están aplicando diversas tecnologías para aprovechar al máximo los residuos sólidos con las ventajas y desventajas que representan cada una. En los países desarrollados se aplican las siguientes técnicas:

a) Relleno sanitario

El relleno sanitario es uno de los métodos más utilizados en el mundo entero. En México este método tiene aplicación por lo general en terrenos accidentados que legalmente han sido autorizados en donde se deposita todo el desecho sólido transportado por camiones del Estado. En esos lugares se lleva a cabo la separación de materiales que se encuentran en forma de botes y frascos, vidrio en botellas y frascos, papel periódico y cartón, plásticos en sus diversas formas. Esto por lo general sucede en las grandes ciudades del país.

En provincia la basura puede ser tirada en basureros autorizados, clandestinos y muchas veces en los terrenos de los generadores de ella.

En los rellenos sanitarios debe tenerse cuidado de no colocar materiales contaminantes solubles en agua pluvial que atraviesa estos lechos y que pueda conducirlos hasta los mantos acuíferos contaminándolos. Existen dos tipos de relleno sanitario: relleno sanitario mecánico y relleno sanitario rústico.

En las dos formas de relleno, los residuos se dispersan en estratos de 20 a 30 cm de grueso y se compactan formando capas que deben recubrirse con tierra de espesor de 15 a 20 cm compactadas igual que los desechos; cuando el terreno se encuentra listo, debe cubrirse con una capa de tierra de 60 cm de espesor con el fin de que pueda soportar el tránsito de vehículos, siembra y cultivo de vegetación y permita la formación de canales superficiales.

Hoy en día tiende a desaparecer el relleno sanitario debido a que con los estudios que se han realizado, después de mucho tiempo de haberse conformado aquellos, se encuentra que todavía hay periódicos y materiales plásticos en estado normal sin degradarse.

- Relleno sanitario mecánico. Con la ayuda de conformadoras, la basura es depositada y compactada para reducir su volumen; posteriormente, se corre con capas de tierra hasta llegar a obtener terraplenes totalmente nivelados. Antes estos terrenos se utilizaban para áreas recreativas, pero hoy en día se debe tener cuidado de no incluir materiales que pueden ser nocivos a través del tiempo ocasionando enfermedades a los visitantes de estos centros. Debe investigarse que estas zonas sean higiénicas y económicas. Para seleccionar un terreno para relleno sanitario es necesario conocer las limitaciones del suelo y de los residuos sólidos y los líquidos tóxicos que generan estos con el paso del tiempo. Deben considerarse también los fenómenos climatológicos como los vientos dominantes, lluvias, humedad y temperaturas extremas.
- Relleno sanitario rústico. Los residuos sólidos son colocados en el terreno para el relleno, cubriéndolos con tierra diariamente. Este tipo de relleno es una forma de controlar la basura con simples implementos y sin utilizar conformadoras costosas. Generalmente es un método que se aplica en comunidades pequeñas en donde la cantidad de basura generada es de poco tonelaje.

b) Pepena. La pepena es una forma de separación de la basura (como el vidrio, metales, papel, pañales, plásticos y otros), utilizando medios mecánicos o manuales en sus diferentes componentes, la cual se realiza en los basureros. Esta técnica requiere grandes equipos y medios de transporte para conducir los materiales a las industrias procesadoras. Para evitar estos trabajos costosos es imprescindible que el gobierno federal dirija y norme la separación de la basura desde las comunidades, a fin de que los materiales seleccionados se dirijan a los centros de reciclado en condiciones adecuadas y limpias. Esto evitaría que la basura se esparciera en la superficie de la tierra y en corrientes de agua, ríos,

mares y océanos, lo cual ocurre aproximadamente en 30% del total.

c) Compactación. Los residuos sólidos pueden reducir su volumen mediante la aplicación de altas presiones, esto es con la finalidad de su acomodo y transporte.

d) Incineración. La incineración es otra técnica para reducir el volumen de los desperdicios sólidos, la cual en muchas partes del país se realiza en lugares abiertos. Por lo general esta técnica requiere incineradores bien diseñados para evitar la fuga de gases, cenizas y emisiones tóxicas. Otras ventajas que ofrece esta técnica es el aprovechamiento de la energía contenida en estos materiales. Los desechos de la incineración, en gran parte se utilizan para carpetas de caminos secundarios, nunca para campos de cultivo.

Los plásticos que no tienen un mercado de reciclaje o que están demasiado contaminados para poder ser reciclados se pueden utilizar como combustible alternativo en plantas cementeras con excepción del PVC, debido a su contenido de cloro. La incineración de este material genera dioxinas altamente cancerígenas.

e) Composteo. Mediante la fermentación de la materia orgánica contenida en los desechos sólidos, se pueden producir fertilizantes que se emplean en los campos de cultivo y, en algunos casos, aprovechar el metano desprendido para producir energía eléctrica y mecánica o simplemente como combustible. El composteo puede hacerse mediante un procedimiento de fermentación natural o por medio de fermentación acelerada.

La fermentación natural consiste primero en desmenuzar los desperdicios y humedecerlos constantemente en fosas de 2 m de profundidad por un periodo de tres meses, al principio debe removerse cada 10 días y una sola vez en los siguientes meses.

La fermentación acelerada se hacen equipos diseñados para la aireación y movimiento constante. Por este proceso el tiempo se acorta a 1/16 del total de la fermentación natural.

f) Químico. Este procedimiento comprende principalmente la pirólisis, que es la descomposición de los compuestos orgánicos contenidos en los desechos orgánicos por alta temperatura en ausencia de oxígeno; la descomposición de la materia orgánica produce líquidos y gases que disminuyen el volumen de los residuos orgánicos.

Los plásticos, como materia orgánica, se degradan dando fragmentos más pequeños pero casi nunca los monómeros. Los polímeros obtenidos por condensación se hidrolizan para dar el ácido correspondiente y el monómero de origen, los cuales se pueden reconvertir en polímero reciclado.

En muchos de los casos, mediante la pirólisis se produce carbón para la recuperación de metanol, ácido acético y terpentina de madera; el proceso requiere reactores diseñados especialmente para tratar los residuos sólidos, entre

ellos los polímeros.

g) Degradación. En un principio, los investigadores y productores de plástico se dedicaron a la producción masiva de estos materiales para cubrir la demanda mundial sin considerar el destino de ellos al terminar su uso; como consecuencia, se tuvo una acumulación de estos materiales en los basureros y sin sufrir degradabilidad, como sucede con los otros desechos orgánicos, el papel y la madera. De los materiales plásticos de desecho que se ven en los tiraderos municipales son los de envoltura y de empaque, que por lo general ocupan gran volumen.

Los industriales se interesaron en buscar tecnologías para reprocesar y volver a usar estos materiales; así, las investigaciones se enfocaron a materiales plásticos biodegradables o a compuestos que, adicionados al plástico, provoquen su desintegración. Existen dos clases de degradación: la fotodegradación y la biodegradación.

- La fotodegradación se lleva a cabo por la aplicación de la luz ultravioleta del sol, la cual actúa sobre la estructura química del plástico. Los compuestos más utilizados son altamente oxidantes, por ejemplo, copolímeros de carboxílcetona, polímeros de monóxido de carbono y sales de cobre. La fotodegradación se aplica más en los plásticos pigmentados con color obscuro, debido a que tienen mayor absorción. Los aditivos se adicionan en proporciones entre 5 y 10 % en la formulación.
- La biodegradación consiste en el rompimiento y consumo del material plástico mediante organismos vivos. Los plásticos biodegradables se clasifican en dos tipos: i) sistemas basados en aditivos y ii) polímeros de origen natural.
Los aditivos utilizados son la glucosa y los almidones, los cuales logran el rompimiento de la estructura cuando son consumidos por los microorganismos.
Actualmente, los polímeros de origen natural tienen un alto costo de producción y aún no se han conseguido resultados satisfactorios.

La fotodegradación y la biodegradación de los plásticos dependen de la luz solar y de la humedad del lugar donde se encuentran estos.

h) Reciclado. Los métodos que se han investigado y sus respectivas tecnologías sobre el tratamiento de los desechos municipales indican sólo dos cosas para el pueblo mexicano: i) legislación y ii) mejor educación.

Esto es con la finalidad de tener una recolección diferenciada y una separación de los materiales desde el lugar de origen para transformarlos en nuevos productos, que sean más limpios y con menos costos de operación.

La recuperación de los plásticos en México requiere:

- La actualización de las normas y leyes sobre la recolección y aprovechamiento de estos materiales.
- Informar y motivar a la población mediante todos los medios educativos, de comunicación y publicitarios, para conseguir la comprensión y colaboración del pueblo a fin de aprender a clasificar y separar los diferentes tipos de plásticos, instalando centros de acopio y recolección diferenciada de los hogares.
- Crear empresas especializadas en el reciclado de plásticos.
- Controlar el plástico esparcido por tierra y mar, o bien instalar plantas incineradoras para los materiales muy maltratados y sucios.

Para que el reciclado de los plásticos sea rentable es necesario:

- Abasto
- Liquidez
- Tecnología de vanguardia
- Mercado

8.0 Procesos y Maquinaria para el reciclaje de plásticos.

8.1 Tipos de Reciclaje.

El reciclaje es el procesamiento de un material para acondicionarlo con el propósito de integrarlo nuevamente a un ciclo productivo. Para los plásticos existen cuatro tipos de reciclaje:

a) Reciclaje primario o mecánico.- consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas muy similares a las del material original. El reciclaje primario tiene aplicación en los termoplásticos ya que estos materiales pueden refundirse a bajas temperaturas prácticamente sin ningún cambio en su estructura.

b) Reciclaje secundario o reutilización.- convierte el plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original, sus aplicaciones son mas reducidas dado que su calidad también es inferior. Ejemplos de plásticos recuperados por esta forma son los plásticos contaminados que generalmente encontramos en los basureros. Las ventajas de este tipo de reciclaje son los niveles de inversión requeridos que permite a los inversionistas (PYMES) lograr insertarse en la cadena del reciclaje.

c) Reciclaje terciario o químico.- degrada al polímero a compuestos químicos básicos. Este tipo de reciclaje es fundamentalmente diferente de los dos primeros mencionados anteriormente porque involucra un cambio químico, no solo un cambio físico. En este tipo de reciclaje las largas cadenas del polímero se rompen en pequeños hidrocarburos (monómeros) o monóxido de carbono e hidrógeno. Hoy en día, el reciclaje terciario cuenta con dos métodos principales: pirolisis y gasificación. Pero se están desarrollando otros métodos como son metanólisis y glicólisis. La ventaja de este método es que recupera los plásticos en sus materias primas de manera que se pueden rehacer polímeros puros y por lo tanto el mercado en el cual se pueden vender es muy amplio, la desventaja es que la inversión requerida es muy alta.

d) Reciclaje cuaternario o incineración.- consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir, el plástico es usado como un combustible con objeto de reciclar energía. Las ventajas de la incineración son que se ocupa mucho menos espacio que en los rellenos sanitarios, sin embargo, algunas de sus desventajas son la generación de contaminantes gaseosos, aunque ésta es mínima y la gran inversión que se requiere.

8.2 Etapas en el reciclaje secundario.

Según su origen, los plásticos para reciclar se clasifican en: post-industrial y post-consumo.

El plástico post-industrial es aquel desecho plástico que se genera en los procesos de transformación (inyección, extrusión, termoformado, soplado) de las empresas que en sus procesos usan plástico como son piezas defectuosas (scrap), no terminadas, y desechos de la limpieza de equipos (barreduras).

El plástico post-consumo es todo aquel desecho plástico que se encuentra en los domicilios, escuelas, calles, oficinas, centros comerciales y centros públicos, es decir, todo aquel lugar donde el producto, la envoltura o envase plástico ha dejado de ser útil.

Todo proceso de reciclaje mecánico lo componen, en general, las siguientes etapas:

- Acopio.
- Selección/Separación.
- Molienda.
- Lavado/Secado.
- Transformación.

a) Acopio.

El acopio consiste en hacer llegar el material que se genera en escuelas, oficinas, casas o unidades habitacionales y calles hasta el centro de acopio o planta de reciclaje.

En este proceso de acopio se busca realizar una preselección que ayudará a reducir la merma, optimizar el manejo del material y evitar su contaminación con otros materiales o sustancias que dificulten el reciclaje. Es deseable la separación de estos materiales por tipo de plástico (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS y otros) y por color (los materiales sin pigmento o de colores claros son de mayor valor, los materiales pigmentados o de colores oscuros son de menor valor).

La pepena de los materiales es la principal fuente de abastecimiento de los centros de acopio, esta es realizada por personas (pepenadores) que venden los materiales preclasificados, separándolos básicamente por sus características físicas, de tal manera que la clasificación que hacen es inexacta, mezclando todos los materiales que se "parezcan" indistintamente. En el caso de los envases de plástico, es fácil confundir algunos envases de PET con pigmentos de color con envases de polietileno, o envases de PVC con polipropileno, solo por mencionar algunos. Aún cuando en el centro de acopio hay una relativa preselección del material post-consumo, la realidad es que en el material a granel existe una mezcla muy variada de plásticos que provienen principalmente de distintos usos y aplicaciones. La identificación adecuada de los distintos materiales es crítica para la posterior transformación de los mismos en las subsecuentes etapas del reciclado.

Desafortunadamente en la vida real, los acopiadores no tienen la capacitación adecuada para hacer una preselección eficiente y los embarques de material post-consumo que llegan a las plantas recicladoras son muy heterogéneos en cuanto a la diversidad de materiales que contienen. En muchos de los embarques de HDPE y polipropileno, se puede encontrar fácilmente hasta un 30% de material que no es el que se busca reciclar, tal como PET, PVC, copolímeros mezclados, material previamente reciclado que no tiene ningún tipo de identificador, piezas de juguetes con partes metálicas en su interior, etc. Por ello, se debe considerar que todo este material no deseado es una merma de materia prima que afectará los costos directos del proceso.

En el centro de acopio se puede reducir el volumen del material por medio de una compactadora, que es básicamente una prensa hidráulica, con la finalidad de optimizar su traslado posterior al centro de reciclaje. El producto obtenido son pacas o fardos de material. El tamaño de las pacas es variable y depende de la capacidad de la compactadora, habiendo pacas desde 40 kg. El peso dependerá del tipo de material y la capacidad de compresión de la compactadora. Se debe considerar que una paca pequeña la podrán manejar una o dos personas pero una paca de mayor tamaño requerirá un montacargas para su manejo. Las pacas de plásticos son amarradas con fleje de plástico, rafia, cuerda plástica o alambre galvanizado. No se debe amarrar con alambre recocido ya que puede manchar los

materiales con óxido. Las ventajas que se tienen al compactar los envases plásticos son:

- 1) El volumen trasladado a las plantas de procesamiento se optimiza, ya que al estar compactado el material, la cantidad de kilogramos por embarque aumenta, disminuyendo directamente el costo de flete por kilogramo.
- 2) La productividad del proceso de molienda mejora, ya que la cantidad de kilogramos molidos aumenta en la medida que los envases se compactan y las cuchillas del molino encuentran menor resistencia al corte en cada ciclo del rotor.

b) Selección.

i) Identificación de los diferentes materiales plásticos.

La selección consiste en separar del material que nos será útil para reciclar, todo aquel agente que es nocivo para el proceso. Este paso tiene una gran importancia para el reciclaje ya que es donde se elimina la mayor cantidad de contaminantes que afectan el material.

Es muy importante capacitar al personal a fin de poder efectuar una oportuna y correcta separación de los distintos plásticos antes del proceso de molienda. Este punto debe ser de especial interés debido a que es el factor clave que determina la calidad y el precio del producto final, de lo contrario el material se cataloga como contaminado, perdiendo así su valor al grado de poder ser considerado prácticamente inservible.

Si se parte del hecho de que la materia prima virgen es el punto de referencia de precios de los materiales reciclados y que el material virgen es de color natural y que no tiene contaminación, la clasificación de los materiales reciclados, es el punto clave que determina la calidad y el valor agregado que pueda darle al producto final, lo cual se traduce en utilidades al poder ser vendido a un alto precio en el mercado. Los colores de los materiales determinan en buena medida la separación que debe hacerse, los de más valor son los de color natural, es decir, aquellos que no contienen pigmentos, después los de color blanco, y por último los llamados multicolor, que aglutinan materiales rojos, azules, rosas, verdes, morados, negros, etc., de los colores más claros a lo más oscuros hay una gama de precios que desciende cuanto más color haya en la mezcla.

Para asegurar el abasto de materiales plásticos mas limpios y de la misma especie y así facilitar su recolección y reciclado después de ser utilizados por el consumidor, la Sociedad de la Industria del Plástico, Inc. (Society of the Plastics Industry Inc. - SPI por sus siglas en inglés), en 1988, sugirió un código de letras y números que se ha usado por mas de 25 años, los propósitos del código original fueron:

- Brindar un sistema coherente para facilitar el reciclado de los plásticos usados.
- Concentrarse en los recipientes plásticos.
- Ofrecer un medio para identificar el contenido de resina de las botellas y recipientes que se encuentran normalmente en los residuos residenciales.
- Ofrecer una codificación para los seis tipos de resinas más comunes, y una séptima categoría para todos los otros tipos que no estén dentro de los códigos 1 al 6.

El sistema de codificación para envases de plásticos ayuda a identificar en los envases, botellas, frascos, contenedores y recipientes, en general, el tipo de plástico utilizado para su fabricación. El código identifica mediante números y letras cada una de las siete resinas que se utilizan para fabricar envases. Los números se moldean en el propio envase dentro de un triángulo con flechas que simbolizan el concepto reciclado. Una abreviatura del tipo de polímero utilizado en el envase se localizará inmediatamente debajo de la botella.

A la cabeza de la designación está el tereftalato de polietileno, designado por 1 y abreviado por PET o PETE; seguido por el polietileno de alta densidad (2, HDPE o PEAD); policloruro de vinilo (3, PVC o V); polietileno de baja densidad (4, LDPE o PEBD); polipropileno (5, PP); poliestireno (6, PS). Una última categoría es la mezcla de residuos, incluyendo materiales elaborados con más de una de las resinas de las categorías 1 a la 6, otros plásticos, aleaciones y multicapas de polímeros (7, Otros).



Figura 12. Códigos de identificación de envases de plástico para reciclaje.

Los plásticos del 1 al 6 son los denominados commodities debido a que son los de mayor consumo. Mientras que en la categoría 7 se encuentran plásticos especiales y de ingeniería, tales como el ABS, el SAN y el PC, por mencionar algunos.

El sistema basado en esta simbología simple permite a los seleccionadores, durante el proceso de recolección y reciclaje, identificar y separar los diferentes productos.

El código es moldeado mediante un inserto grabado en el fondo, o lo más cerca de este, de la botella o del envase, según lo permita la geometría del artículo. El tamaño mínimo recomendado es de 2.5 centímetros (1 pulgada), para lograr su identificación rápida. Envases con bases pequeñas puede llevar el símbolo en un tamaño proporcional.

El procedimiento de insertos en los moldes permite un fácil cambio de los códigos, de acuerdo con el tipo de resina utilizada. El código indica únicamente la resina de la que está hecho el envase y no tiene relación alguna con el tamaño, contenido o apariencia del mismo.

Dado que el etiquetar los productos hechos de polímeros es una cuestión voluntaria no regulada, siempre encontraremos materiales sin identificación. La identificación por simple inspección es difícil, sin embargo hay algunos tipos que son fácilmente reconocibles. Las botellas transparentes y sin color que se utilizan para las bebidas gaseosas son hechos casi todos de polietileno tereftalato (PET). Las botellas de material opaco blanco que se utilizan para envasar leche usualmente están hechos de polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE). Las mangueras usadas para riego de jardín y, en general, cualquier tubería de plástico están hechas de policloruro de vinilo (PVC). Las bolsas de algunas envolturas están hechas frecuentemente de polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE). Las tapas de cualquier botella están hechas, por lo general, de polipropileno (PP).

ii) Selección Automatizada: es un proceso eficiente que requiere de una inversión considerablemente mayor que la selección manual, los equipos pueden costar mas de un millón de dólares. Se requieren al menos dos equipos: uno para separar por tipo de plástico y otro para separar por colores. Este sistema permite separar PET, HDPE, LDPE, PVC, PP, PS y otros plásticos. También puede separar por colores (natural y los colores que se requieran). Producen hasta 0.8 toneladas por hora y aseguran una pureza de selección de hasta 99%.

iii) Selección Manual: esta forma de selección es realizada por personal capacitado (seleccionadores) y lo pueden llevar a cabo con un alto grado de eficiencia teniendo las herramientas adecuadas. Existen dos tipos de selección: negativa y positiva, ambas buscan el mismo fin que es obtener un material seleccionado apto de ser reciclado.

1) La selección negativa (negative sorting) consiste en retirar del proceso todo aquel agente que resulte nocivo al proceso o que pueda contaminar el material que se pretende reciclar. El material avanza por una banda transportadora, a su paso los operadores separan el material que no es apto para reciclaje permitiendo el libre avance del material que será reciclado. El material separado es depositado en contenedores, estos a su vez al ser llenados con material separado son retirados y repuestos por contenedores vacíos. En la clasificación negativa se utilizan rejillas al frente de la banda que sirven como tableros para lanzar los materiales que no se requieren reciclar en sacos para los diversos materiales.

Estas rejas sirven al mismo tiempo como exhibidores de aquellos envases con los que debe tenerse especial cuidado.

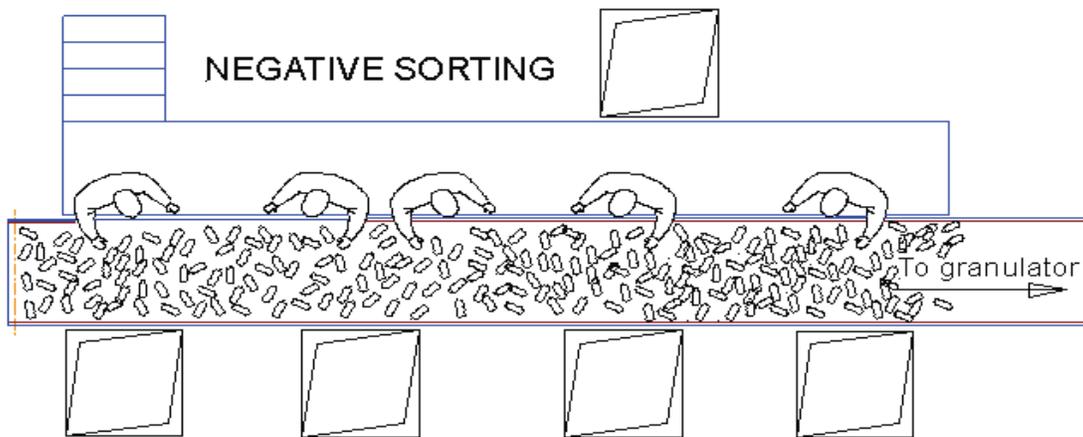


Figura 13. Selección Negativa o Negative Sorting.

La selección negativa puede ser usada si la cantidad de material que pasa por la banda no excede los 500 kg/h, de otra manera la cantidad de botellas a seleccionar serán demasiadas y el proceso no arrojará buenos resultados, ya que el riesgo de que algún material contaminante no sea separado oportunamente es muy alto. El cálculo estándar para una persona que separa botellas es de entre 120 a 150 kg/h con éste método.

2) La selección positiva (positive sorting) consiste en añadir al proceso de reciclaje el material que es apto de ser reciclado permitiendo el libre avance de los materiales ajenos al proceso o contaminantes que afectan al material que se pretende reciclar. Para realizar este proceso se requiere de dos bandas horizontales dispuestas en forma paralela, una primera que servirá de alimentación del proceso de selección y como mesa de separación y una segunda banda donde se depositará el material seleccionado, misma que alimentará el siguiente proceso de reciclaje.

El material alimentado avanza por la primer banda horizontal donde, a su paso, un grupo de seleccionadores toma el material que es apto para ser reciclado y lo coloca en la segunda banda horizontal, que lleva el material seleccionado hasta el siguiente proceso. Este tipo de selección incrementa la calidad del producto final ya que cada botella que es reciclada fue escogida cuidadosamente por el seleccionador, adicionalmente algunos objetos difíciles de detectar a simple vista como clavos, vidrios, tuercas, etc., no son arrastrados al siguiente proceso. Todo el material que continúa en la primera banda y que no es seleccionado para ser reciclado es considerado como basura. Si adicionalmente se quiere separar las botellas también por color, es posible utilizar una tercera banda para estos efectos. Con este método cada seleccionador puede escoger entre 80 y 100 kg/h de botellas, por lo que se necesita emplear más personal que en el método anterior.

En la práctica y con la mezcla de plásticos que se obtienen en México, un seleccionador experimentado puede seleccionar entre 40 y 50 kg/h de botellas.

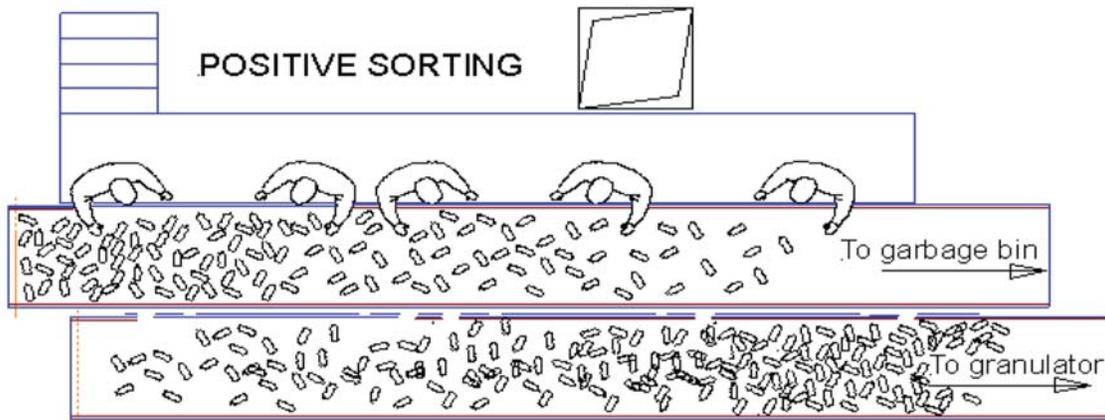


Figura 14. Selección Positiva o Positive Sorting.

Para obtener una mayor calidad del material seleccionado, existen diversas máquinas y equipos que pueden mejorar el proceso de selección.

a) Un equipo quita-etiquetas es una máquina que, por medio de fricción, elimina la mayor parte de tapas y etiquetas de los envases. Las botellas de plástico, con tapas y etiquetas, son alimentadas a través de la banda transportadora, dentro de la quita-etiquetas se separan las tapas y las etiquetas dando como resultado final botellas sin etiquetas aunque mezcladas con tapas que se depositan en una banda transportadora que las lleva al trommel.



Figura 15. Máquina quita-etiquetas.

b) Una criba cilíndrica rotatoria (trommel) permite separar los materiales pequeños del material por reciclar y así reduce el trabajo de los seleccionadores. Esta criba permite separar tapas, etiquetas sueltas, animales pequeños, corcholatas, tuercas,

tornillos, pedazos de vidrio y en general cualquier objeto pequeño no deseado en el proceso.



Figura 16. Criba cilíndrica o Trommel.

c) En la banda de selección puede agregarse un detector de metales que, al momento de detectar un metal detenga la banda y permita que los seleccionadores retiren ese contaminante que además es muy peligroso para la etapa de molienda.



Figura 17. Detector de metales.

d) Un contenedor (pulmón o acumulador) es un silo que almacena material seleccionado de tal forma que mediante una banda alimente de manera continua la máquina donde se vaya a procesar el material (compactadora o molino).



Figura 18. Silo, pulmón o acumulador.

iv) Pruebas de laboratorio.

Dado que se pueden encontrar materiales que no son identificables mediante el código grabado en las botellas, a través de los siguientes pasos se pueden examinar algunos plásticos comunes y realizar algunas pruebas para identificarlos.

Estos experimentos son muy sencillos y ayudan a diferenciar con efectividad de entre los seis tipos de termoplásticos mas comunes (PET, PEAD, PVC, PEBD, PP y PS). El diagrama de flujo es el siguiente:



Figura 19. Diagrama de flujo para identificar los termoplásticos mas comunes.

La primera prueba consiste en sumergir los materiales en agua, los que tienen una densidad mayor a la del agua como el PVC, el PS y el PET se van a hundir, por el contrario los menos densos que el agua como el PEAD, el PEBD y el PP van a flotar.

Para identificar los plásticos que se hayan hundido en el agua, es necesario hacer una prueba con alambre de cobre. Se toma con unas pinzas el alambre exponiendo el extremo libre directamente al fuego hasta que esté al rojo vivo y la flama no sea más de color verde. Retirando el alambre del fuego, se toca con el extremo caliente la muestra de plástico que se va a probar, una pequeña muestra de plástico debe fundirse en el cable. Al poner la muestra directamente al fuego, si la flama se vuelve verde, la muestra contiene clorina y esto es indicio de que el material es PVC, si la flama es naranja, se debe realizar la prueba de la acetona.

Usando unas tenazas, se sumerge una muestra de plástico en acetona por 20 segundos. Al retirar la muestra, se presiona firmemente entre los dedos. Se produce una reacción positiva si la muestra se vuelve suave y pegajosa. También se puede rascar la muestra con la uña para determinar si la superficie se ha reblandecido. Si la reacción es positiva, el material del que se trata es PS.

La prueba con calor sirve para identificar el PET, se debe hervir agua y usando unas tenazas se sumerge una muestra de plástico en el agua por 30 segundos. Al retirar la muestra y presionarla firmemente entre los dedos, se ha producido una reacción positiva si la muestra se vuelve suave.

Para identificar las muestras de plástico que flotaron en el agua, se deben sumergir en una solución de alcohol isopropílico al 45%. De los tres materiales que flotaron en la prueba del agua, el único que se hunde en la solución de alcohol isopropílico es el PEAD.

Para diferenciar entre el PEBD y el PP se deben sumergir los plásticos en aceite comestible, el que se hunda en el aceite es el PEBD y el que flota es el PP.

c) Molienda.

Las piezas de gran tamaño (tortas de material fundido, cuerpos huecos, madejas de hilo, entre otros) exigen, según el tipo de material y la forma, la utilización de instalaciones de corte y moliendas especiales. Las fábricas de maquinaria de este sector ofrecen instalaciones adecuadas para cada caso y existen diversos factores que se deben tomar en cuenta para la elección de un molino, por ejemplo:

- Tipo de plástico
- Estado del material
- Piezas de inyección
- Cuerpos huecos

- Piezas compactadas
- Rebabas
- Masas fundidas
- Dimensiones de material a triturar
- Humedad media
- Granulometría final requerida
- Densidad del plástico
- Tipo de alimentación
- Producción

En el proceso de molienda el material a reciclar se reduce de tamaño con un molino obteniéndose hojuelas o granos irregulares. Existen diversos tipos de molinos, pero el más utilizado en el reciclaje de plásticos es el molino de cuchillas. Este molino tiene un conjunto de cuchillas giratorias y un conjunto de cuchillas fijas que, al atrapar el plástico entre éstas, lo trituran.

El accionamiento de las cuchillas giratorias se hace mediante un motor que puede ser de 2hp (1.5kw) hasta 200hp (150kw) y una producción de 20 a 1,800 kg/h. La producción varía en función del diseño, motor y criba del molino, de la forma y limpieza del material que se muele.



Figura 20. Molino de cuchillas giratorias.

De acuerdo con el tamaño del motor, los molinos de cuchillas se clasifican en:

- 1) **Molinos a pie de máquina:** son utilizados para la recuperación de desechos de producción (scrap). Estos equipos generalmente son de baja capacidad y reducidas dimensiones. Facilitan la recuperación inmediata y total de partes pequeñas y medianas o coladas ingresándolas nuevamente al proceso de transformación evitando así el almacenaje de estos materiales.

2) **Molinos para reciclaje:** son de gran capacidad de procesamiento y son el equipo fundamental para el reciclaje, por lo que se debe contar con un equipo de excelente calidad que garantice una producción continua. La capacidad de un equipo destinado al reciclaje parte de 10hp (7.45kw), cualquier capacidad inferior implica costos de operación similares a la capacidad mencionada.

El molino debe fabricarse de acuerdo con las características del material a procesar para optimizar su producción y costos. Los elementos más importantes en un molino son la tolva y la caja de molienda:

La tolva de alimentación deberá seleccionarse de acuerdo con el tipo de material que se procesará. Aunque en apariencia los molinos para plásticos son muy parecidos, no todos son iguales ya que la tolva y la configuración de la cámara de molienda los hacen muy diferentes. Empezando con la tolva de alimentación, se puede dividir en dos clases: a) alimentación manual y b) alimentación por banda.

En las siguientes figuras se muestran dos tipos de tolvas para alimentación manual, la primera es la tolva estándar (figura 21) y la segunda es una tolva recta (figura 22). Esta última es más conveniente para piezas plásticas con mucho volumen porque permite que caigan sin problemas hasta la caja de molienda.



Figura 21. Tolva estándar.

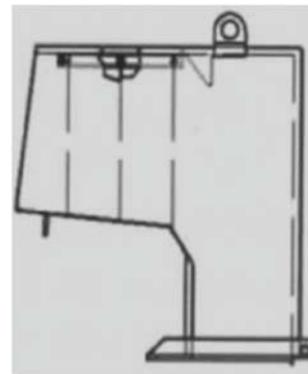


Figura 22. Tolva recta.

Las tolvas de alimentación por banda (figura 25) se reconocen fácilmente porque tienen la entrada recortada (figura 26) a diferencia de las tolvas para alimentación manual que tienen la entrada más alargada. Si se alimenta con banda, teniendo una tolva para alimentación manual, el material se acumulará en la entrada y por tanto se desbordará sin ingresar al molino.

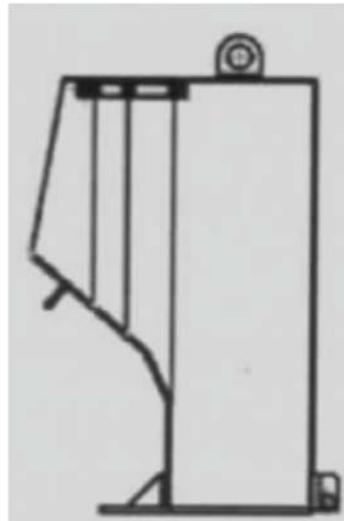


Figura 23. Tolva para banda.

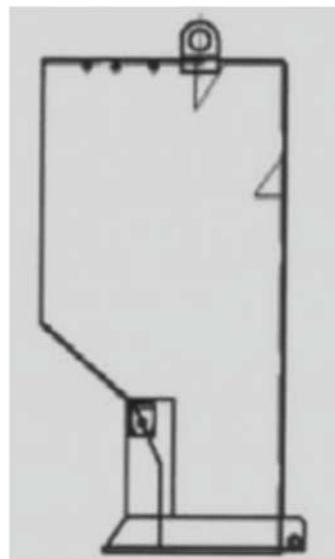


Figura 24. Tolva alta para banda.

La caja de molienda también es un factor determinante para la productividad del molino y su diseño depende básicamente del tipo de material que se vaya a moler. Para la trituración de piezas ligeras como láminas delgadas de termo-formado, tarimas de HDPE, fascias de PP, botellas de PET o HDPE, el sistema de corte debe ser inclinado, simulando el corte de una tijera.

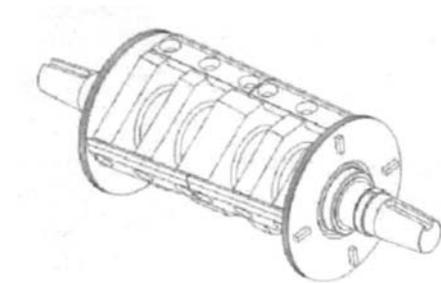


Figura 25. Rotor con cuchillas de tipo inclinado.

Para piezas más duras y de gran espesor como lo son plásticos, la configuración usada en el molino debe ser de tipo escalonado lo que simula una garra.

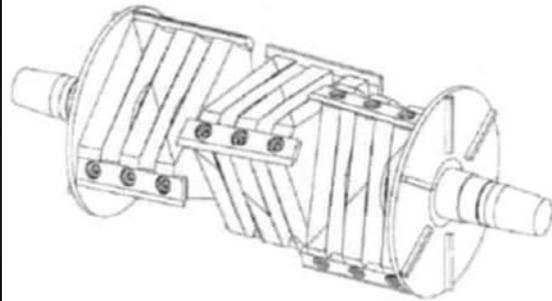
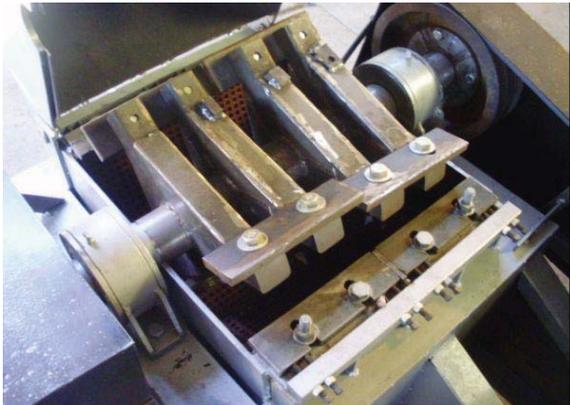


Figura 26. Rotor con cuchillas de tipo escalonado.

El funcionamiento de un molino y el inicio del proceso de molienda se realiza introduciendo el plástico a moler por la parte superior del molino en una tolva de alimentación, para que caiga a la caja de molienda donde unas cuchillas rotatorias giran constantemente y, al pasar junto a otras cuchillas fijas, corten el material. Una criba en la parte inferior de la cámara determina el tamaño de las hojuelas que se obtendrán. Los molinos reducen las piezas a pequeños granos u hojuelas de dimensiones que quedan determinadas por el diámetro de barreno en criba, entre los más comunes podemos encontrar 11mm (7/16”), 12.7mm (1/2”) y 14.2mm (9/16”).

El plástico molido cae a una caja de descarga, para extraerlo se utiliza un extractor neumático que envía el material por un ducto hasta un ciclón. En éste equipo el material pierde parte de la humedad que pueda traer y permite el llenado de los supersacos, también llamados barcinas o big bags.

La molienda produce hojuelas o granos de diferentes medidas, algunos de ellos muy finos que causan algunos problemas al transformarlos en producto. Para eliminar estas partículas se utiliza un separador de finos.

En el proceso de molienda se debe considerar los siguientes aspectos:

- La molienda en seco es más eficiente que la molienda en húmedo.
- Para optimizar la producción del equipo, este debe ser alimentado de manera automática mediante una banda y extraer el material molido mediante un extractor neumático.
- La producción es mayor con materiales compactados que con materiales inflados.

En caso de realizar el proceso de lavado es conveniente realizar la molienda con inyección de agua, este proceso lubrica el material evitando altas temperaturas en el molino y al mismo tiempo evita el desgaste excesivo de las cuchillas de corte.

Las cuchillas están hechas de un acero especial tratadas térmicamente y afiladas mediante una afiladora o una rectificadora. Es importante que el filo de la cuchilla sea lo más lineal posible para que la separación entre los filos sea mínima al momento de instalarlas. El afilado de las cuchillas debe realizarse cada que la producción por hora se reduzca en un de máximo 15%. El filo de las cuchillas puede durar unas horas o varios días dependiendo de la suciedad y el tipo de material que se vaya a procesar.



Figura 27. Material molido sucio.

d) Lavado.

Una vez molido el plástico, el siguiente proceso es lavarlo y secarlo, existen dos tipos de lavado: 1) en frío y 2) en caliente. El primero produce material limpio pero todavía con residuos contaminantes (principalmente pegamentos), mientras que el segundo produce hojuelas sin contaminantes. La selección del tipo de lavado se hace en función a los siguientes factores:

- Aplicación a la que será destinado el material reciclado.
- Inversión inicial: el lavado en frío requiere menor inversión que el lavado en caliente.

1) Lavado en frío (materiales que no tienen etiquetas).

Para procesar materiales que no tienen etiquetas regularmente solo se requiere lavar con agua a temperatura ambiente, aunque se pueden añadir módulos adicionales a la línea para eliminar cualquier vestigio de pegamento que hubiera quedado adherido en el material. Adicionalmente, este proceso reduce los costos de consumo de energía eléctrica y mantenimiento.

En la figura 28 se aprecia el proceso completo, el cual inicia colocando el plástico sobre la banda transportadora inclinada (1), que alimenta de manera constante al molino (2), el cual trabaja con inyección de agua para que limpie un poco el material mientras lo tritura. Del molino se saca el plástico molido a través de un transportador helicoidal o tornillo sinfín (3), que tiene una sección de lámina perforada para escurrir parte del agua que entró al molino, este equipo alimenta el material a la tina de flotación (4). Esta tina tiene agitadores sobre el nivel máximo del agua que hacen avanzar las hojuelas y a su vez las sumergen en el agua para un mejor lavado.

El material se decanta hacia un transportador que tiene una sección de lámina perforada para escurrir el agua que paso con las hojuelas. En la parte inferior la tina tiene un husillo que arrastra el material que no flota, al final de la tina otro transportador descarga dicho material. Del tornillo que sacan las hojuelas que flotan y se transportan a una centrifuga de secado (5), esta máquina seca el material, no requiere de equipos auxiliares como resistencias o aire caliente. De la centrifuga de secado se envía a través de una tubería hacia un ciclón (6), el flujo de material sigue en forma continua hacia las cascadas del separador de finos (7).

Los finos que se separan van a un ciclón que descarga hacia una válvula rotativa y se dejan caer sobre un contenedor. El separador de finos cuenta con una válvula para regular la cantidad de finos que se desea separar del material grueso.



Figura 28. Línea completa de reciclado.

En la molienda de materiales plásticos la generación de partículas finas es inevitable y esta tiende a incrementarse cuando se trata de materiales con pared gruesa, ejemplo: cajas de polietileno o polipropileno o bien tarimas plásticas, por lo que se hace necesario el uso de equipos de separación de finos. Debido a la finura, la separación por medio de tamices es complicada, sin embargo, los clasificadores por corrientes de aire son muy apropiados.

Una construcción utilizada a menudo, es el separador en zigzag. Este equipo realiza la separación por diferencia de presiones: el grano más pesado cae al contenedor y las partículas más pequeñas son llevadas hacia un ciclón depositándose en un tambor sellado. De esta forma los granos o escamas recuperados quedan libres de polvo y partículas finas teniendo además tamaño y peso más homogéneos.

De la salida del separador de finos el material cae sobre un embudo que tiene un venturi, un soplador pasa el aire a través de el y el material se dirige por medio de una tubería hacia un ciclón montado sobre una base, que por gravedad, descarga las hojuelas en los supersacos.

Para obtener un producto de calidad y alto valor agregado en el mercado es muy importante considerar el factor de humedad, el cual no debe exceder el 1% y una proporción no mayor a 100 ppm en etiquetas en el total de su carga.

Dependiendo de la aplicación final, materiales plásticos como el polietileno de baja densidad, el polietileno de alta densidad o el polipropileno, pueden solo requerir de lavado en frío.

2) Lavado en Caliente.

El ciclo de lavado en caliente se efectúa utilizando agua caliente a temperaturas entre los 80-90 grados centígrados, a fin de poder eliminar en este ciclo el pegamento y algunos otros materiales no deseados mediante el uso de sosa cáustica y otros aditivos, los cuales si no son erradicados por completo pueden causar un efecto no deseado en módulos subsecuentes como en la extrusión o simplemente disminuyen la calidad del producto terminado, lo que se traduce en un menor precio de venta. El punto de fusión y algunas otras propiedades químicas varían entre los plásticos, por lo cual es importante hacer una separación de los mismos con objeto de evitar un efecto no deseado en procesos posteriores.

e) Secado.

Una vez limpio, el scrap es secado con el objeto de retirarle los restos de humedad. Esta labor se realiza generalmente utilizando un secador rotatorio de aire caliente generado por un quemador de gas propano o keroseno. La humedad final recomendada es 0.5%. Otras técnicas utilizan primero un escurridor centrífugo para separar el agua y después secar los scraps con aire caliente para reducir el contenido de humedad hasta aproximadamente 0.5%.

f) Pelletizado.

Es el proceso por el que se obtienen los pellets mediante una operación de extrusión. Se fluidiza el scrap o aglomerado utilizando un tornillo de extrusión, que en términos simplificados es un tornillo sinfín dentro de un cilindro largo. Los scraps o el aglomerado se colocan en la extrusora en el extremo del tornillo por el diámetro más grande y se comprimen mientras se lleva hacia la boquilla de extrusión. Previamente y de ser necesario se añaden los aditivos. El calor combinado de la fricción producida por el flujo de las bandas de calefacción suplementarias provoca la fundición de la resina, extrayéndose de la mezcla los contaminantes volátiles. La temperatura debe ser constante en cada tramo del extrusor, para lo cual se calienta con una resistencia eléctrica y se mantiene la temperatura necesaria con un sistema de refrigeración (serpentín de agua o aire). Inmediatamente antes de la boquilla, la mezcla fundida pasa a través de una malla fina que separa las impurezas sólidas restantes; este paso se conoce como filtración de fundido. A continuación, el plástico líquido pasa por un molde con orificios que ocasiona la salida de “fideos” de plástico. Este material se solidifica por la temperatura ambiente. Para enfriarlo más se le hace pasar por una tina con agua y luego, mediante unos rodillos, estos “fideos” son transportados hacia una cortadora donde se obtienen los pellets con una longitud de entre 8 a 10 mm.

Otra forma de obtener los pellets es cortar los “fideos” en segmentos cortos, con una cuchilla giratoria mientras pasa a través de los orificios del molde, y dejarlos

caer en una tina de agua, donde se enfrían.

Los pellets se secan en un secador centrífugo hasta alcanzar un contenido de humedad de 0.5%; luego son pesados, envasados y almacenados para su transporte hasta el cliente.



Figura 29. Material reciclado pelletizado.



Figura 30. Caja agrícola fabricada con material reciclado.

9.0 Problemas más frecuentes en el reciclado.

El primer problema para el reciclaje es que existe una variedad muy grande de diferentes productos plásticos en el mercado, entre estos, es posible recuperar solamente los más comunes, bajo el criterio de que se separen completamente según los diferentes materiales. Un reciclaje completo de los plásticos no es posible.

Si bien es verdad que el 90% de los plásticos usados en los hogares pertenecen a las categorías PET, PEAD, PVC, PEBD, PP y PS, también es cierto que se utilizan varios aditivos químicos en los diferentes productos, tales como suavizantes, colorantes, estabilizadores, ablandadores, etc., que cambian las propiedades de estos plásticos. Por consecuencia, dos productos hechos del mismo plástico pueden tener características diferentes, lo que afecta la calidad del producto hecho de plástico reciclado.

Existe también el problema que el plástico de algunos embalajes reacciona con los materiales que contiene. Si, por ejemplo, se conservan químicos agrícolas dentro de un recipiente de plástico, este quedará contaminado. En caso de reciclarse, el producto reciclado contendrá esta contaminación, por consecuencia, es muy importante clasificar los plásticos no solamente según el tipo de material si no también de acuerdo a su uso anterior y su procedencia.

Dado que el reciclado de plástico aún no está bien desarrollado, presenta problemas económicos y técnicos para que el proceso sea factible y de mayor aplicación; otro problema común es el color que tiene el material reciclado que lo limita en su aplicación.

A pesar de que las propiedades físicas de las resinas recicladas son ligeramente inferiores a las del material virgen (downcycling), el granulado del material reciclado puede ser jaspeado si el material mezclado no es seleccionado por el color.

La industria de la transformación prefiere el material blanco o cristal. Así, en el caso de productos de mezclas de resinas su mercado está limitado a usos en donde se logra el color uniforme mediante la adición de colorantes oscuros para enmascarar el color del reciclado.

Otra limitación es que los plásticos, al igual que el papel, son menos reciclables que el vidrio o aluminio debido a sus propiedades físicas y químicas. Los polímeros que componen el plástico tienden a degradarse en el reprocesamiento, especialmente por la exposición al calor.

Las temperaturas de 200°C del proceso destruyen todos los residuos de alimentos y bacterias, pero las altas temperaturas necesarias para esterilizar el material degradan la mayoría de los plásticos. Se hace uso de altas temperaturas para la absorción de contaminantes atrapados en la estructura de los plásticos.

Otros problemas radican en la degradación de las cadenas del polímero durante el reprocesamiento; después de que un material es reciclado de tres a cinco veces, la resina puede no tener las propiedades pronosticadas, a menos que se agregue una cantidad significativa de resina virgen.

Antes de que ocurra cualquier reprocesamiento de plásticos, éstos se pepenan y seleccionan, en caso de mezcla de plásticos granulados, las diferentes resinas deben ser separadas para su procesamiento. Las mezclas ocasionan un alto costo por los tratamientos adicionales que se les tienen que proporcionar.

9.1 Propiedades de los plásticos reciclados.

El uso de los productos plásticos fabricados a partir del reciclado mecánico de los residuos plásticos presenta algunas limitaciones técnicas que habrá que tener en cuenta. Su omisión puede conducir a resultados inaceptables. Por tal motivo es necesario realizar una comparación de las propiedades entre la resina virgen y la obtenida después de someterla a cambios físicos para llegar a un nuevo producto.

Las propiedades estudiadas fueron la densidad y el índice de fluidez.

Polímero	Densidad promedio del material virgen (g/cm ³)	Densidad promedio del material procesado (g/cm ³)	Densidad promedio del material reprocesado (g/cm ³)
PEBD	0.924	0.915	0.910
PEAD	0.954	0.948	0.933
PP	0.900	0.882	0.873

Tabla 5. Datos de densidad de algunos tipos de termoplásticos. Fuente: Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria.

Para determinar el índice de fluidez (MFI) se sometió al PEAD, al PEBD y al PP a temperaturas de 200 °C y 250 °C respectivamente y una presión de 2.5 kg/cm².

Polímero	MFI del material virgen (g/10 min)	MFI del material procesado (g/10 min)	MFI del Material reprocesado (g/10 min)
PEBD	0.60	0.62	0.63
PEAD	0.13	0.137	0.142
PP	1.80	2.05	2.28

Tabla 6. Datos de índice de fluidez de algunos tipos de termoplásticos. Fuente: Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria.

De los resultados obtenidos se puede observar una disminución promedio de la densidad de 1.52% para los polietilenos y 3.0% para los polipropilenos; lo que hace notar que la degradación sufrida por el PP es mayor que para el PE. La disminución promedio de la densidad para los PE reciclados es de 1.6% después de ser sometidos a una transformación. Se puede decir que cada vez que se somete al polímero a temperatura y presión, la densidad sufre una disminución entre 1.3% y 1.5%.

En las medidas del MFI existe un incremento promedio de 5.0% en los polietilenos y de 26.7% para los polipropilenos, lo que implica una disminución de la viscosidad del material reprocesado con respecto al material procesado.

A pesar de que la calidad del polímero disminuye después de ser sometido al proceso de reciclado, es posible utilizarlo con buenos resultados en transformaciones, tal vez de tipo diferente al que fue sometido originalmente. Por ejemplo: un índice de fluidez bajo indica viscosidad elevada, ideal para la extrusión, en cambio un índice de fluidez alto es adecuado para la inyección. Esta propiedad es muy importante a la hora de elegir el proceso de transformación.

Las propiedades estudiadas influyen en otras propiedades importantes del material según se muestra en la siguiente tabla.

Propiedad	Disminución de la densidad	Aumento del índice de fluidez
Elongación a la rotura	Disminuye mucho	Disminuye
Modulo E	Disminuye mucho	Disminuye
Dureza	Disminuye	Disminuye poco
Temperatura de fusión	Disminuye	Casi no cambia
Temperatura máxima de uso	Disminuye	Disminuye poco
Temperatura de fragilización	Aumenta	Aumenta
Resistencia al impacto	Disminuye	Disminuye mucho
Hinchamiento	Aumenta mucho	Aumenta poco
Permeabilidad	Aumenta	Aumenta
Tensofisuración	Disminuye	Aumenta
Transparencia	Aumenta	No cambia
Fluidez	Aumenta poco	Aumenta mucho

Tabla 7. Influencia de la densidad y el índice de fluidez en otras propiedades de los plásticos reciclados. Fuente: Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria.

Los usos posteriores para los materiales reciclados deben basarse en las nuevas propiedades que adquiere el polímero una vez transformado. Una alternativa, que se aplica en la industria para el uso de estos materiales, es combinarlos con materiales vírgenes, para aumentar la compatibilidad o compensar las deficiencias.

10.0 Cuantificación de las proyecciones financieras.

Una parte fundamental de los objetivos de este trabajo es cuantificar los resultados que podrían obtenerse al instalar una planta de reciclaje de polipropileno post-consumo. Para hacer las proyecciones financieras, se calculó la inversión inicial necesaria así como los rendimientos esperados en un horizonte de 5 años.

10.1 Premisas de mercado.

Los precios del polipropileno reciclado se estiman con el promedio de los precios de los últimos 12 meses de este producto en el mercado y rondan los 13 pesos por kg. Considerando que en 2012 el precio promedio de la materia prima virgen fue de 68.4 centavos de dólar por libra, el cual equivale a aproximadamente 20 pesos por kilogramo. El precio de material reciclado es un gran atractivo para las empresas que buscan abatir costos en algunas aplicaciones que no demandan la calidad del material virgen.

Los precios por kilogramo de materia prima para reciclar son de \$4.0 pesos. Es muy importante considerar que la mezcla de plásticos que se encuentra en una tonelada de material corresponde principalmente a HDPE, LDPE y PP en un 80%, el restante 20%, es material mezclado de otros plásticos como PET, PS, PVC, plásticos de ingeniería, desechos orgánicos, metales, envases con líquidos, envases llenos de tierra y basura en general, que no son susceptibles de ser reciclados y son considerados merma en la compra.

La implicación de tener una merma de esa magnitud es que el precio del material sujeto a ser reciclado se encarece, ya que los 800 kilogramos de material "bueno" se pagaron a \$4,000 pesos, es decir, a \$5 pesos por kilogramo.

10.2 Premisas de operación.

La planta puede operar 3 turnos, pero para efectos de la proyección financiera solo se considera trabajar en un solo turno. Trabajando 48 horas a la semana, los días hábiles por mes son 26.

Las capacidades de producción anuales son de 60,000 kilogramos, iniciando con 5,000 kilogramos el primer mes e incrementándose gradualmente 5,000 kilogramos en cada uno de los meses de la proyección, hasta alcanzar la producción a capacidad total del molino prácticamente en el primer año.

La plantilla de gente necesaria para esta proyección es de 10 personas para la selección de los materiales, 3 personas para el manejo de los mismos y 1 jefe de turno para supervisar la línea de producción.

Los servicios necesarios para la operación de una planta de estas características son la electricidad y el agua, usados para la operación de los diferentes equipos como el molino, los equipos de lavado y secado, los equipos para ensacar el producto terminado, etc.

10.3 Premisas de inversión.

Las tecnologías disponibles para el procesamiento de este tipo de residuos son de características muy similares, lo que hace que la diferenciación entre los distintos equipos disponibles en el mercado sea la calidad de los materiales con los que se fabrican y, por lo tanto, el precio de los mismos.

Para efectos de este trabajo, se consideraron tres proveedores de equipos nuevos: uno mexicano, otro chino y uno europeo. Los detalles de las cotizaciones pueden verse en los anexos 1, 2 y 3, que respectivamente corresponden a los proveedores antes mencionados.

La diferencia en precio es notoria para los equipos europeos, tanto el equipo mexicano como el chino tienen un precio similar, pero los equipos mexicanos están fabricados con acero de mejor calidad y mayor espesor, además, en el caso de que algo falle, el proveedor mexicano tiene mucho mayor capacidad de respuesta que el proveedor asiático y el servicio post-venta también sería mejor, por lo tanto, la decisión considerada es la inversión en los equipos mexicanos.

10.4 Premisas de ubicación, dimensiones y distribución de la planta.

La zona en la que debe localizarse la planta es idealmente la misma en la que se encuentran los centros de acopio de donde se va a abastecer de materia prima, esto se hace para disminuir lo más posible los costos de fletes, que pueden ser muy elevados en el caso de que los centros de acopio se encuentren más alejados de la planta.

Las dimensiones mínimas para establecer una planta que procese materiales de esta naturaleza, corresponden a un espacio de al menos 1,000 m². Es muy importante tener que cuenta que el mayor espacio de la nave industrial deberá de ser destinado para la recepción de materiales y la selección de los mismos.

También es relevante considerar que la planta debe tener una distribución funcional para que los materiales sucios se reciban por un lado y los materiales limpios salgan por otro, para evitar contaminarlos. A continuación se muestra una distribución sencilla para su montaje.

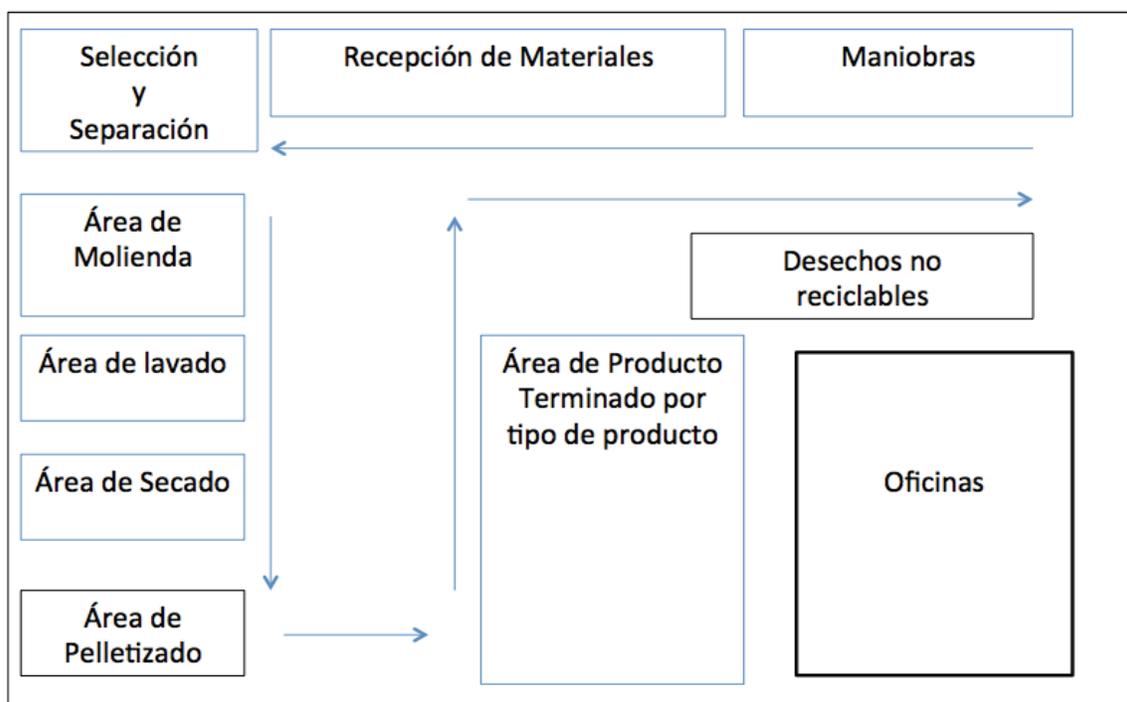


Figura 31. Diagrama de distribución de la planta. Fuente: Proyecto propio.

10.5 Proyecciones financieras.

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ventas	5,082,675	10,246,673	10,759,006	11,296,957	11,861,805
Costo de MP	1,950,000	3,931,200	4,127,760	4,334,148	4,550,855
Fletes	243,750	491,400	515,970	541,769	568,857
Energia Electrica	143,260	286,945	301,626	317,057	333,279
Agua	<u>36,990</u>	<u>38,883</u>	<u>40,872</u>	<u>42,963</u>	<u>45,161</u>
Contribución a Fijos	2,708,675	5,498,245	5,772,779	6,061,020	6,363,653
Costo Fijo (MDO)	475,000	750,750	788,288	827,702	869,087
Gasto Fijo	2,408,425	2,528,846	2,655,289	2,788,053	2,927,456
Depreciacion	<u>385,280</u>	<u>385,280</u>	<u>385,280</u>	<u>305,280</u>	<u>252,780</u>
Suma Fijos	<u>3,268,705</u>	<u>3,664,876</u>	<u>3,828,856</u>	<u>3,921,035</u>	<u>4,049,323</u>
Utilidad de Operación	-560,030	1,833,369	1,943,923	2,139,985	2,314,330
Intereses Ganados	497	9,223	24,995	40,945	57,575
Utilidad antes de Impuestos	-559,533	1,842,593	1,968,918	2,180,930	2,371,905
ISR y PTU	-	<u>737,037</u>	<u>787,567</u>	<u>872,372</u>	<u>948,762</u>
Utilidad Neta	<u>-559,533</u>	<u>1,105,556</u>	<u>1,181,351</u>	<u>1,308,558</u>	<u>1,423,143</u>

Tabla 8. Estado de Resultados Proyectados (5 años). Fuente: Proyecto propio.

10.6 Índices de rentabilidad.

Con los números proyectados en un escenario de 5 años, el Valor Presente Neto (VPN) del proyecto es de \$1,199,967 pesos a una tasa de descuento de 18%, que es la tasa de interés que podría adquirirse con alguna institución bancaria para financiar el proyecto.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto es de 33.4%, resultando una tasa atractiva para los inversionistas.

La recuperación de la inversión o payout se da en 32 meses.

11.0 Conclusiones.

El reciclaje de plástico no es solo una opción para enfrentar el problema de la contaminación, es una obligación que se tiene en el país para aminorar la presencia de este tipo de desperdicios en las calles, en el campo, en los mares, en los ríos, etc. Si no se quiere quedar sepultados en una montaña de desechos plásticos, se debe hacer conciencia de que la basura de nuestros hogares debe separarse adecuadamente para que llegue a las plantas recicladoras que pueden transformar estos materiales y reintegrarlos al ciclo productivo de nuestra economía.

Si nos siguen dando la opción de separar la basura en nuestros hogares, la velocidad con la que nos moveremos en la dirección adecuada será muy lenta y tardía, hacerlo obligatorio y legislar procedimientos para ir avanzando en este tema son la única solución viable al problema que hoy enfrentamos. La manera en la que saldremos adelante es trabajando conjuntamente el gobierno, la ciudadanía y la iniciativa privada, promoviendo la creación de empresas recicladoras y abasteciéndolas de materias primas para realizar sus procesos de transformación.

La educación sobre este tema es primordial para que todo el sistema funcione, para que la basura que producimos diariamente se seleccione de acuerdo con su origen, y que el gobierno, por su parte, recoja cada día de la semana un solo tipo de material de desecho. De esta forma el material podría llegar más limpio a las industrias procesadoras, lo que conllevaría además, que el procesamiento tuviera un menor costo.

Por otra parte se debe crear una tecnología apropiada para procesar los materiales plásticos del país, debido a que las tecnologías creadas por otros países, se encuentran protegidas por cada nación y no son del dominio público en la actualidad.

En los últimos años a nivel mundial, se ha generalizado el cuidado del medio ambiente y de los recursos naturales. Los plásticos enfrentan uno de los retos más

importantes desde su introducción en el mercado, ya que sus ventajas como la resistencia a la degradación y su economía con respecto a otros materiales están siendo cuestionados por su impacto ambiental. Algunos países han creado medidas legislativas como la retornabilidad y la reglamentación en el uso de materiales para reciclado. El interés por reciclar plástico tiene como beneficios el mejoramiento ecológico y la generación de nuevas industrias que pueden resolver los problemas de contaminación, aunado a la obtención de buenas utilidades económicas.

El consumo de polipropileno en México sigue creciendo año con año y, por ende, los desechos de este material siguen existiendo en grandes volúmenes. Es factible hacer un negocio rentable mediante el proceso adecuado de dichos materiales, pero siempre tomando en cuenta que los clientes buscan, además de un costo competitivo, seguridad en el abasto y un producto de calidad homogénea, que les permita usarlo puro o de manera mezclada con material virgen, obteniendo buenos rendimientos y desempeño en sus propios procesos.

La calidad y cuidado con el que se haga la selección de materiales y su posterior procesamiento en la planta de reciclaje, son la clave para asegurar la calidad del producto final. Es muy importante identificar los materiales que se van a reciclar, de tal manera que no se mezclen plásticos diferentes, porque sólo así puede ganarse terreno en mercados tan competidos como el del reciclaje.

La gran variedad de materiales plásticos disponibles para reciclar, ya sea por su composición química, por el método de su fabricación o por la aplicación para la cual están diseñados, hace que literalmente haya cientos de plásticos disponibles en los mercados. La tentación de incursionar en el reciclado y comercialización de materiales plásticos que no se conocen, puede hacer que se pierda foco y se distraigan esfuerzos que generalmente van en contra de lo que se sabe hacer.

Para ser exitosos en el procesamiento y la venta de materiales en este tipo de negocios, es importante conocer muy a fondo los plásticos que se van a reciclar y los mercados a los que se van a vender, de otra manera, el riesgo de comprar una materia prima que se convierta en desperdicio es razonablemente grande.

12.0 Bibliografía.

The recycling of polypropylene containers. An assessment of the viability of establish. Andrew Simmons, Chief Executive Officer. UK April 2005

Enciclopedia del Plástico. Instituto Mexicano del Plástico industrial, S.C. Margot Aguilar Rivero. México 1997

Reciclamiento de Basura. Una opción ambiental comunitaria. México 1999

Transformación y Reciclado de Polímeros. Heliodoro Hernández Luna et al. México 2010

American Plastics Council and National Middle Level Science Teachers Association, Plastics Analysis Lab, Hands on Plastic: A Scientific Investigation Kit. Fuente Original: Kollman, Christopher S., Chem 13 News, January 1994

Propiedades de los Plásticos Reciclados.
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/peru/argres027.pdf>
Consultada 15/07/2013

Moldeo por soplado.
http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_soplado
Consultada 30/08/2013

Moldeo por inyección.
http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyección
Consultada 20/07/2013

Virtual Textbook of Organic Chemistry.
<http://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/polymers.htm#polmr1>
Consultada 10/01/2013

Recycling and Disposal of Polymers - Chemwiki.
http://chemwiki.ucdavis.edu/Organic_Chemistry/Polymers/Recycling_and_Disposal_of_Polymers
Consultada 8/01/2013

Propiedades de los Plásticos Reciclados.
<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=605>
Consultada 28/09/2013

Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana 2013.
<http://www.aniq.org.mx/anuario/2013.html>
Consultada 18/08/2014

13.0 Referencias.

¹ Un día sin plásticos.

<http://www.cnnexpansion.com/manufactura/2010/10/25/plasticos-sustentable-bolsas>

Consultada 15/08/2013

² Sin reciclar 87% del plástico en México: ANIPAC.

<http://www.sinembargo.mx/26-02-2013/541574>

Consultada 22/08/2014

14.0 Glosario.

A

ABS: Acrilonitrilo-butadieno-estireno.

Aditivo: Sustancia que modifica las propiedades del plástico en diferentes formas.

Agente Nucleante: Una sustancia química que proporciona sitios o semillas para la formación de estructuras cristalinas en resinas fundidas.

Alcohol Isopropílico: Conocido como isopropanol, es un líquido inflamable que incendia a 453°C. Es un solvente para la preparación de aceites esenciales, alcaloides, resinas y gomas.

Amorfo: Que no posee un ordenamiento determinado. Los polímeros son amorfos cuando sus cadenas están entrelazadas de cualquier manera. Los polímeros son no amorfos (cristalinos) cuando sus cadenas se encuentran alineadas en cristales ordenados. (Véase: cristalinidad).

ASTM: Son las siglas de American Society for Testing and Materials. Es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América. En el 2001 la ASTM asume su nombre actual: ASTM International como testimonio del interés supranacional que actualmente han alcanzado las técnicas de normalización.

Atáctico: Descripción aplicada al arreglo al azar de las unidades a lo largo de una cadena polimérica.

B

Barrera: Propiedad de algunos plásticos que se caracterizan porque ofrecen una permeabilidad muy reducida a la difusión de gases, aromas y sabores.

Biodegradable: Que se descompone bajo la acción de agentes biológicos, como insectos o microorganismos.

Biorientación: Arreglo que toman las moléculas de un plástico cuando son forzadas a estirarse biaxialmente.

Boquilla: Conducto hueco que se atornilla al final del barril de extrusión de una máquina de inyección o al final de una cámara de transferencia que se interpone entre el conducto y el barril. La boquilla está diseñada para formar un sello bajo presión entre la máquina de inyección y el molde. La punta de la boquilla puede ser plana o esférica.

C

Calor de Fusión: Es la cantidad de calor necesaria para que una resina pase del estado sólido al estado fundido, una vez que ésta ha alcanzado el rango de temperatura de fundición. Se reporta en términos de cantidad de calor por mol de resina.

Carga: Elemento inerte, barato, adicionado al plástico para hacerlo menos costoso mejorando las propiedades mecánicas en particular dureza y resistencia al

impacto. Generalmente las partículas de cargas son pequeñas a diferencia de los refuerzos.

Catalizador: Sustancia que acelera las velocidades de reacción, como el curado de termo fijos, la producción de polímeros (ver catalizadores Ziegler-Natta, metallocenos, etc.).

Caucho: Polímero químicamente entrecruzado (termofijo) conformado por moléculas precursoras de hidrocarburos, con sustituciones de elementos como el silicio, nitrógeno, oxígeno, azufre, etc. Hay cauchos blandos (elastómeros) y duros, dependiendo del grado de entrecruzamiento químico.

Cavidad: Se refiere al elemento que da la forma a cada pieza individual en un molde de formación. El molde puede ser de inyección, termoformación, soplado, o rotomoldeo.

Ciclo: Una tanda completa de un proceso de conversión intermitente. La tanda puede constar de subdivisiones o etapa; que se repiten siempre en la misma secuencia. Los procesos de inyección y de termoformación, por ejemplo, son intermitentes y están conformados por tandas o ciclos de operación secuenciales.

Cizalladura: Ver esfuerzo cortante.

Coextrusión: Proceso en el cual se combinan dos o más capas extruidas en un molde o dado solo, ya sea de manera simultánea o en secuencia.

Commoditie: Voz inglesa. Nombre que reciben los materiales de alto consumo (por lo general, los que cotizan en bolsa).

Composta: Mezcla de basura orgánica que se deja fermentar.

Compresión, Resistencia a la: Carga a la cual una probeta plástica falla por aplastamiento, dividida entre el área original de la misma. Ver ASTM D 695.

Conductividad Térmica: Propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor, es decir, es la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes. Se mide en Cal cm/seg cm².

Constante Dieléctrica: La razón de la capacitancia de un arreglo de dos electrodos separados por un material plástico a la capacitancia obtenida cuando los dos electrodos están separados por aire únicamente. Ver ASTM D 150.

Contracción de Moldeo: Encogimiento de la resina cuando se solidifica o enfría después de formación; se expresa en porcentaje.

Copolímero: 1) Si en la reacción de obtención de un polímero, intervienen dos monómeros distintos, se obtiene un copolímero. Los hules termoplásticos son ejemplos de copolímeros, como el EPDM copolímero de etileno-propileno. 2) Polímero constituido por más de un tipo de monómero. (Véase: monómero).

Copolímero Random: Copolímero etileno-propileno. El término random se debe a que el etileno se inserta al azar en la cadena del polipropileno.

Cristalinidad: Estructura molecular ordenada uniformemente y compacta de un material. En los polímeros, las cadenas moleculares forman las denominadas esferulitas, una forma cristalina básica que se repite en mayor o menor extensión en la masa de la resina. Las regiones no cristalinas mantienen el estado amorfo.

Cromado: Un proceso electrolítico de deposición de películas de cromo metálico duro con el objeto de reforzar y proveer resistencia a la abrasión, corrosión o erosión.

Curado: Reacción química que forma polímeros generalmente reticulados o termofijos por polimerización, condensación o por vulcanización; usualmente con la participación de un catalizador, calor y presión, o cualquier combinación de estos últimos.

D

Deformación Elástica: Cambio reversible en las dimensiones de un objeto sólido a raíz de la aplicación de una fuerza externa. Cuando la fuerza externa cesa de actuar, el cuerpo sólido regresa a sus dimensiones originales. La fuerza externa puede ser de tensión, compresión o impacto, por ejemplo.

Deformación Plástica: Cambio irreversible en las dimensiones de un objeto sólido como resultado de la aplicación de una fuerza externa sobre el mismo; por ejemplo, fuerza de tensión, compresión o impacto.

Degradación: Descomposición de la estructura molecular de una resina por la acción del calor, luz u otro agente agresivo .

Densidad: Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

Densidad relativa: Relación existente entre la densidad de un cuerpo y la de otra sustancia de referencia.

Decoloración: Cualquier cambio del color original a causa de un sobrecalentamiento, exposición a la luz ultravioleta, irradiación o ataque químico

Desmoldeo: Etapa de un proceso como inyección o termoformado, donde la pieza se retira del molde después de tomar la forma deseada.

Dieléctrico: Material que no conduce la electricidad, por lo que puede ser utilizado como aislante eléctrico. Además, si es sometido a un campo eléctrico externo, puede establecerse en él un campo eléctrico interno, a diferencia de un material aislante con el que suele confundirse. Todos los dieléctricos son aislantes pero no todos los aislantes son dieléctricos. Algunos ejemplos de materiales dieléctricos son: el vidrio, la cerámica, la goma, la mica, la cera, el papel, la madera seca, la porcelana, algunas grasas para uso industrial y electrónico y la baquelita.

Difusión: Transporte de una sustancia gaseosa o líquida a través de un material plástico.

Distribución de peso molecular: Histograma de la frecuencia de los rangos de pesos moleculares de una resina. A partir del histograma se puede calcular el peso molecular promedio o el número promedio del peso molecular.

Dureza: Resistencia de un material a la compresión o indentación. Existen varias escalas para medir la dureza: Brinell, Rockwell, Shore, etc.

Dureza Shore: Dureza de un material medida con un durómetro Shore. Ver ASTM D 2240.

E

Elasticidad: Propiedad del material por virtud de la cual puede recuperar su forma y tamaño original después de haber sido expuesto a un proceso de deformación. Si la deformación es proporcional a la fuerza aplicada, se dice que el material

exhibe una elasticidad de Hooke o ideal.

Elastomérico: Parecido a un elastómero, que recobra su forma después de estirarse.

Elastómero: Material plástico que a temperatura ambiente se comporta como un caucho. Pertenece al grupo de los plásticos termofijos, con grado de entrecruzamiento intermolecular (curado) relativamente bajo. Estos materiales se pueden estirar bajo una tensión débil hasta el doble de su dimensión original sin sufrir una deformación irreversible.

Elastómero termoplástico: Tipo de elastómero que no necesita vulcanización, siendo el tipo de unión entre las cadenas de origen físico. Suelen estar constituidos por copolímeros de bloque, que presentan bloques rígidos y bloques elásticos, y forman materiales multifásicos íntimamente dispersos. Los bloques rígidos actúan como uniones físicas o puntos de anclaje para el armazón de los segmentos elásticos. Un ejemplo típico es el copolímero estireno-butadieno-estireno. Los elastómeros termoplásticos se pueden procesar con los métodos convencionales de los polímeros termoplásticos.

Electrólisis: Fragmentar una sustancia en iones a través de una corriente eléctrica. Los iones producidos se depositan en los electrodos utilizados.

Elongación: Porcentaje de deformación de una probeta plástica en una prueba de esfuerzo mecánico, como la de tensión. El porcentaje se mide con respecto a la dimensión original de la probeta.

Entrecruzamiento: Es una característica de las estructuras químicas de los plásticos, reconocida por la formación de enlaces entre las cadenas moleculares. La estructura entrecruzada impide al plástico fundir, particularidad de los termofijos

Envoltura Encogible: Empacado con una película que se encoge cuando se aumenta la temperatura de la misma. El calor libera fuerzas acumuladas en la película y ésta se encoge sobre el producto empacado.

Esfuerzo Cortante: En flujo laminar, la razón de la fuerza aplicada sobre el área de fricción transversal.

Estabilidad Dimensional: Propiedad de una pieza plástica moldeada o extruida para retener su forma y dimensiones originales dentro de una tolerancia específica.

Estereoespecífico: Característica de un polímero, que se da cuando diversos grupos de átomos, tienen un orden fijo y definido en el espacio con respecto a otros. Un catalizador estereoespecífico es aquél que favorece la formación de estos materiales.

Estiramiento: Grado de deformación que experimenta una muestra cuando se la somete bajo tensión. El estiramiento puede ser elongación, flexión, compresión o cualquier tipo de deformación.

Etileno: Gas explosivo que al polimerizar produce polietileno bajo condiciones de presión y temperatura.

Extrusión: Método de transformación donde un plástico es forzado a pasar a través de una abertura con forma definida, previa fusión del mismo.

Extrusor: Máquina compuesta generalmente de un tornillo y un barril, que tiene una variedad de funciones, en especial fundir el plástico y entregarlo a una velocidad de flujo regulada, y con una distribución homogénea de la temperatura, presión, viscosidad, y concentración de materiales y aditivos.

F

Finos: Partículas pequeñas, usualmente de menos de 200 mesh, que se encuentran con otras partículas más grandes, como con las escamas de material remolido.

G

Glicólisis: a) Ruptura de una molécula mediante la acción de un glicol b) Degradación mediante azúcares que no requiere de aire para efectuarse.

Granulador: Sistema de extrusión cuyo dado de formación entrega filamentos de diversos grosores de resina fundida. Estos filamentos pueden ser recortados en pequeños cilindros o secciones directamente sobre la cara del dado o después, cuando el filamento solidificado se pasa a través de un aparato cortador colocado en línea con el sistema de extrusión.

Granulometría: Medición del tamaño de un granulo o partícula.

Gravedad específica: La densidad de un material (en términos de masa por unidad de volumen) dividida entre la del agua. ASTM D 792.

H

HDPE: Polietileno de alta densidad.

Hidrocarburo: Sustancia química compuesta sólo de átomos de hidrógeno y carbono, de ahí su nombre. Se considera al petróleo como la mayor fuente actual de estos compuestos.

Homopolímero: Resultado de la polimerización de un solo tipo de monómero, un polímero que contiene un solo tipo de unidad repetitiva.

Husillo: Elemento metálico de geometría helicoidal que plastifica los polímeros girando en un cilindro hueco llamado barril o cañón. Los diseños empleados en los husillos varían en función de los requerimientos del material plástico y del proceso de transformación.

I

Índice de Amarillamiento: Mide la tendencia de un plástico a tornarse amarillo por efecto de exposición a la luz o al calor.

Índice de fluidez: La cantidad en gramos de una resina termoplástica que es forzada a fluir a través de un dado con dimensiones específicas, durante 10 minutos. Es una prueba estándar descrita en el ASTM D 1238.

Inyección: Ver moldeado por inyección.

Isotáctico: Descripción aplicada al ordenamiento espacial de las moléculas de los polímeros en los cuales un grupo (como el metileno en polipropileno) ocupa la misma posición relativa en la unidad repetitiva del polímero.

L

Lámina: Es una cinta de material plástico, de ancho variable, pero con un espesor normalmente superior 0,150 mm.

Laminado: Estructura de capas superpuestas y unidas por uno o varios métodos de adhesión. Las capas contienen uno o más plásticos, a veces también hay capas de papel o foil de aluminio.

LDPE: Polietileno de baja densidad.

M

MFI: Siglas en inglés para el índice de fluidez "Melt Flow Index".

Macromolecular: Molécula gigante, con más de 1000 átomos, conformada de diversas maneras, como por ejemplo, termoplásticos, termofijos, proteínas, celulosa, almidón, etc.

Metalizado: Aplicación de una capa delgada de metal a una superficie no metálica como una película o artículo plástico. Se puede hacer por deposición química o por exposición del material plástico a los vapores del metal en una cámara de vacío.

Metalloceno: Catalizador órgano-metálico de composición definida, usado en la polimerización de algunos plásticos para cambiar el arreglo de las macromoléculas en el espacio.

Módulo de cizalla: En los experimentos de deformación por cizalla o corte, en los que a una muestra se la somete a una fuerza de cizalla por unidad de superficie, ss ; que origina una deformación de cizalla, es , (relación entre del desplazamiento provocado y la distancia que separa a las superficies); se define el módulo de cizalla G como el cociente: $G = ss/es$. El módulo de cizalla es una medida de la resistencia que opone la muestra a este tipo de deformación.

Módulo de Elasticidad: Es la relación constante que existe entre el esfuerzo y el alargamiento, dentro del intervalo elástico de una sustancia. Puede determinarse en los ensayos de tracción, compresión o flexión. Debido al comportamiento viscoelástico de los plásticos, debe tenerse en cuenta la dependencia con respecto al tiempo.

Módulo de Flexión: El coeficiente de dividir la fuerza aplicada a una probeta de plástico, entre la deformación causada por esa fuerza; en condición de flexión. Es una medida relativa de la rigidez de un material. Ver ASTM D 790.

Molde: Cuerpo hueco o cavidad dentro del cual se introduce la resina fundida para que esta copie la forma interna del mismo. El copiado se puede lograr por la expansión de la resina con la ayuda de un gas (aire, por ejemplo) introducido a presión (como en moldeado por soplado o inyección asistida con gas) o por la compactación de la resina dentro de la cavidad (como en moldeo por inyección).

Moldeado por Inyección: Método de moldeado mediante el cual la resina fundida se introduce en la cavidad de un molde, donde adopta la forma de la cavidad y luego se enfría para conservarla.

Moldeado por Inyección Líquida, "LIM": 1) proceso de inyección a presión en un molde de una formulación de dos resinas líquidas que se polimerizan dentro del molde. La formulación se prepara justamente antes de inyección mediante equipos de dosificación y mezclado. Un sistema especial de alimentación introduce la formulación en el molde de inyección. El proceso se emplea generalmente para encapsular componentes eléctricos y electrónicos. (2) un proceso de RIM (del inglés reaction injection molding que involucra un proceso de mezclado mecánico en lugar del mezclado por impacto a alta presión. La limpieza permanente del mezclador se logra agregando inicialmente el polioli de la siguiente tanda para que efectúe una labor de disolución de los residuos de la tanda previa.

Moldeado por Soplado: Método de fabricación a partir de una manga de plástico fundida (tubo hueco colocado en un molde y luego forzado a tomar la forma del molde por la expansión interna generada por aire a presión.

Monómero: Compuesto químico con propiedades estructurales especiales que da origen a la formación de polímeros mediante la incorporación repetida de su molécula en los mismos.

N

Nafta: Nombre aplicado a diversos productos obtenidos del petróleo, el diluyente nafta es un líquido inflamable y tóxico mezcla de varias sustancias químicas.

Nucleación: En los procesos de cristalización, es la formación de nuevos núcleos cristalinos a partir de disoluciones sobresaturadas o en fundidos sobreenfriados. El proceso de nucleación presenta dos contribuciones que determinan la estabilidad de los núcleos formados: la energía libre de solidificación (contribución termodinámicamente favorable), y la energía libre de formación de las nuevas superficies del núcleo (contribución desfavorable).

O

Olefina: Grupo de hidrocarburos insaturados (alquenos) con fórmula química general C_nH_{2n} , con nomenclatura que toma el nombre del alcano correspondiente y usa el sufijo ene. Ejemplos: etileno, propileno, etc.

Oligómero: Polímero de bajo peso molecular, se origina debido a la presencia de pocas moléculas unidas en una cadena pequeña, donde la unidad monomérica se repite de dos a diez veces. Los oligómeros se forman cuando un polímero empieza a formarse o degradarse.

Opaco: Calificativo del material que no permite el paso libre de la luz.

Organometálico: Nombre empleado para cualquier sustancia que tenga una estructura orgánica como un hidrocarburo y un metal, unidos por enlaces químicos

Orientación: Alineación de las moléculas de un polímero en una o más coordenadas. La orientación puede ser generada durante el proceso de fabricación con el propósito de incrementar las propiedades mecánicas de productos formados, como películas, laminas, filamentos, cuerpos huecos soplados o termo formados.

Orientación Biaxial: El proceso de estiramiento de películas plásticas calientes, u otros objetos plásticos, en dos direcciones en condiciones tales que las moléculas resultan orientadas también en esas dos direcciones.

P

Párisson: Manga hueca extruida que se coloca en el molde del proceso de moldeado por soplado.

Partición del molde: Marca que se deja sobre el producto moldeado en el punto donde se encuentran las mitades del molde. Puede ocurrir en moldeado por inyección, soplado u otro método que involucre el uso de moldes que se abren en por lo menos dos partes.

Pellet: Gránulos de plástico con tamaño regular, de forma esférica o cilíndrica, constituyen la presentación comercial del material.

Pelletizar: Proceso en el que se forman pellets, usando un extrusor cuyo dado tiene muchos orificios por donde sale el plástico con las dimensiones requeridas. Esta operación puede efectuarse en frío o caliente.

Permeabilidad: Facilidad de difusión de un gas, líquido o partícula sólida a través de la pared de un plástico, medida en términos de masa por unidad área transversal de la pared, por unidad tiempo; bajo ciertas condiciones de diferencia de concentración y de temperatura.

Peso Molecular: Suma de los pesos atómicos de los componentes de una molécula.

PET, PETE: Tereftalato de polietileno.

Pirólisis: Descomposición térmica de un compuesto químico.

Plástico: Material formado por largas cadenas hidrocarbonadas, de naturaleza orgánica, susceptible de ser moldeados. Sus propiedades varían en función de su conformación química y modificaciones de las que pueden ser objeto (mezclas y aditivos).

Plástico de Ingeniería: Expresión que define a los plásticos que se utilizan de manera muy específica, creados prácticamente para cumplir una determinada función, requieren tecnología especializada para su fabricación o su procesamiento y de precio relativamente alto.

Plastificación: (1) Fundir un material por efecto de esfuerzo cortante o calentamiento, de manera que sea moldeable. (2) Acción de un plastificante sobre la resina, ésta absorbe al primero, de manera que las partículas resbalan unas sobre otras, suavizando el material. (3) Fusión del plástico por efecto de fricción y calentamiento. También se dice que un material está plastificado si tiene aditivos plastificantes, como en el caso del PVC.

Plastificante: Un aditivo que incorporado en un plástico incrementa su flexibilidad y tenacidad. Normalmente se emplea en los materiales termoplásticos y disminuye la viscosidad del material fundido, la temperatura de transición vítrea y el módulo de elasticidad.

Polímero: Palabra derivada del latín poli (muchos) y meros (partes), utilizada para designar materiales formados por la unión de monómeros. Los polímeros pueden ser naturales (lana, algodón) o sintéticos.

Poliiolefina: Cualquier polímero cuyas unidades de monómero son hidrocarburos de cadena lineal no saturados (olefinas) conteniendo sólo carbono e hidrógeno. Así por ejemplo el PVC y el PVDC que contienen cloro, no son poliolefinas. Las poliolefinas más comunes son PE y PP.

PP: Polipropileno.

Preforma: Forma previa que se le da al plástico antes de moldearlo en forma definitiva.

Prepolímero: Ver oligómero.

PS: Poliestireno.

PVC: Cloruro de Polivinilo.

R

Reciclaje: Proceso que convierte desperdicios de materiales plásticos en una variedad de productos manufacturados. Puede consistir en un proceso de recuperación de materias primas, como la metanólisis, glicólisis, hidrólisis o la despolimerización térmica. Otro grupo de procesos pertenece a la recuperación mecánica de los materiales plásticos, que involucra etapas de lavado, clasificación, molienda y eventualmente, granulación.

Recolección Residencial: Recolección de desperdicios llevada a cabo en los andenes residenciales, usualmente en bolsas o contenedores de basura. Se busca que la basura sea separada de antemano, en la fuente, para aumentar el valor de los materiales de desperdicio.

Regranulado: Nombre que recibe el plástico cuando se fragmenta por molienda, después de ser moldeado por algún proceso de transformación. También es conocido por remolido, material de reproceso.

Reproceso: Procesar por segunda vez. Usar el material excedente, rebabas, piezas defectuosas, y coladas, para moldear otros productos aprovechando la cualidad termoplástica de muchos polímeros.

Resina: Fluido polimérico denso, viscoso, natural o sintético con alto peso molecular.

Resistencia a la Flexión: Habilidad de flexión de un material sin deformarse permanentemente o sin romperse. Ver ASTM D 790.

Resistencia a la Luz: Habilidad de los materiales plásticos a resistir el deterioro de sus propiedades fisicoquímicas cuando se expone a la luz del sol o la luz ultravioleta. Ver ASTM D 1501.

Resistencia a la Tensión: Determina el punto de ruptura de un polímero al aplicarse sobre el una fuerza en cada uno de sus extremos, midiendo su deformación y relacionándola con la fuerza aplicada hasta que la muestra rebasa su límite de deformación elástica y se deforma permanentemente o se rompe. Se mide en kg/cm^2 . Ver ASTM D7332.

Resistencia al Impacto: Habilidad de un material para resistir cargas de choque sin romperse. También se puede medir como el trabajo realizado para romper un material por la acción de un impacto, llevado de una manera específica sobre una probeta del material.

S

Soda Cáustica: El hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido sódico, también conocido como sosa cáustica o soda cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos, y detergentes.

SAN: Estireno-acrilonitrilo.

Scrap: Sobrante del moldeo que no forma parte de la pieza final como rebabas, coladas, piezas defectuosas, en los procesos de extrusión o inyección éste excedente es molido e incorporado al proceso como material remolido.

Semicristalino: Material polimérico que presenta zonas amorfas y cristalinas en su estructura.

Sindiotáctico: Un polímero en el cual la estructura lateral está alternada regularmente arriba y abajo del plano del bloque.

T

Tacticidad: Alineación regular de la estructura de algún polímero en el espacio.

Temperatura de Fusión: Es la temperatura, en la cual un material cambia del estado sólido al líquido.

Temperatura de Reblandecimiento (Vicat): Es la temperatura a la cual un polímero comienza a perder sus propiedades mecánicas, es decir, se reblandece. Ver ASTM D1525.

Temperatura de Transición Vítrea: La temperatura a la cual un polímero de estructura amorfa cambia del estado de sólido duro y frágil a de un material que se asemeja a la del caucho por su condición viscosa y elastomérica. En termodinámica se describe como una transición de segundo orden, en donde no hay un cambio brusco de las variables termodinámicas sino que un cambio en la tendencia del comportamiento de las mismas.

Tensión: Grado de fuerza ejercida sobre un objeto dividida por el área transversal del mismo. El área transversal es el área de una sección transversal del objeto en un plano perpendicular a la dirección de la fuerza. La tensión generalmente es expresada en unidades de fuerza dividida por área, como N/cm^2 .

Termoestable: ver termofijo.

Termofijo: Material con enlaces químicos entrecruzados que no tiene la propiedad de fundirse a ninguna temperatura. A altas temperaturas se descomponen.

Termoformación: Proceso de formación de productos plásticos a partir de láminas calentadas previamente y estiradas hasta que toquen la superficie de las cavidades del molde.

Termoformado: Formar por temperatura. Moldear por calor una lámina termoplástica utilizando presión o vacío de manera auxiliar.

Termofundible: Que se vuelve líquido con el calor.

Termoplástico: Material plástico cuyas moléculas no están entrecruzadas con enlaces químicos y tienen por lo tanto la libertad de fluir libremente cuando se calientan. Los materiales termoplásticos se pueden fundir.

Tolva: Unidad intermedia de almacenamiento de la resina que alimenta el extrusor de una unidad de transformación.

Traslúcido: Cuerpo o superficie que permite el paso de la luz, pero no se puede ver a través de él.

Z

Ziegler-Natta: Familia de catalizadores esteroespecíficos que deben su nombre a los científicos que los desarrollaron, Karl Ziegler y Giulio Natta. Básicamente son grupos alquil-aluminio o compuestos de titanio, el trietilaluminio, tetracloruro de titanio son ejemplos de estos catalizadores. Ziegler y Natta recibieron el premio Nobel de Química en 1963 por su descubrimiento.

15. Anexos

15.1 Anexo 1. Cotización de equipo por parte de fabricante mexicano.

FABRICACIONES METALICAS Y EQUIPOS M SOLEDAD SILVA MERCADO

FEBRERO 22 DE 2013

ANGEL MALDONADO SALGADO
RIO BLANCO No. 188 COL. INDUSTRIAL
MEXICO, D.F.
CP 07800

COTIZACION No..S01013

AT'N.: SR. ANGEL MALDONADO S.

EN ATENCION A SU AMABLE SOLICITUD DE COTIZACION, TENEMOS A BIEN PRESENTAR A SU CONSIDERACION NUESTRA SIGUIENTE PROPUESTA:

SISTEMA DE LAVADO PARA POLIETILENO Y POLIPROPILENO

1.- CONTENEDOR

CONTENEDOR PARA ALIMENTACIÓN DE BANDA, CONSTRUIDA EN LAMINA DE METAL DEZPLEGADO Y ESTRUCTURA DE PTR DE 2.5 M DE ANCHO POR 2.5 M DE LARGO 1.6 M DE ALTURA

PRECIO \$ 24,800.00

2.-BANDA SELECCION

BANDA PARA ALIMENTACIÓN DE MOLINO DE 100 CM X 10 M DE LARGO CONSTRUIDA EN ESTRUCTURA Y LAMINA DE ACERO AL CARBÓN, CINTA TRANSPORTADORA EN PVK CON EMPUJADORES Y MOTORREDUCTOR DE 3 HP

PRECIO \$ 78,600.00

3.-BANDA ALIMENTACION

BANDA PARA ALIMENTACIÓN DE MOLINO DE 61 CM X 6 M DE LARGO CONSTRUIDA EN ESTRUCTURA Y LAMINA DE ACERO AL CARBÓN, CINTA TRANSPORTADORA EN PVK CON EMPUJADORES Y MOTORREDUCTOR DE 1.5 HP

PRECIO \$ 69,100.00

4.- MOLINO GRANULADOR

MOLINO GRANULADOR MODELO 1230 CON CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN 250 – 450 KG CON POTENCIA DE 30 HP Y BOCA DE 30.4 X 76 CM, TOLVA RECEPTORA PARA BANDA Y TOLVA DE SALIDA PARA ACOPLAMIENTO PARA TRANSPORTADOR HELICOIDAL.

PRECIO \$ 194,600.00

TRIUNFO 8 SAN LORENZO TLALMIMILOLPAN TEOTIHUACÁN, EDO. DE MEXICO
TEL (01) 594 956 8982

FABRICACIONES METALICAS Y EQUIPOS M SOLEDAD SILVA MERCADO

5.- TRANSPORTADOR HELICOIDAL

TRANSPORTADOR HELICOIDAL DE 20 CM X 3.5 M CONSTRUIDO EN ACERO INOXIDABLE Y ESTRUCTURA DE ACERO AL CARBÓN, ASPERSORES DE AGUA PARA HUMECTACIÓN DEL MATERIAL A LAVAR, CON MOTORREDUCTOR DE 2 HP

PRECIO \$ 79,600.00

6.-LAVADO Y SEPARACION

LAVADORA CONSTRUIDA EN LÁMINA GALVANIZADA CON SISTEMA DE AGITADORES CON MOTOR DE 2 HP HELICOIDAL PARA EXTRACCIÓN DE MATERIAL FLOTANTE CON MOTORREDUCTOR DE 1.5 HP, HUSILLO PARA MATERIALES DE PRECIPITACIÓN CON MOTORREDUCTOR DE 2 HP TRANSPORTADOR DE 2 HP.

PRECIO \$ 336,800.00

7.-CENTRIFUGA DINÁMICA

CENTRIFUGA DINÁMICA MODELO CD 6 CON MOTOR DE 20 HP ROTOR Y MALLAS EN ACERO INOXIDABLE Y CUERPO EN ACERO AL CARBÓN ALIMENTADOR DE AC INOX DE 1 HP

PRECIO \$ 218,300.00

8.- TRANSPORTADOR NEUMÁTICO

TRANSPORTADOR NEUMÁTICO MODELO TN 50 CONSTRUIDO EN ACERO AL CARBÓN MOTOR DE 5 HP Y CICLÓN PARA DESCARGA.

PRECIO \$ 47,600.00

9.- SEPARADOR DE POLVOS

SEPARADOR DE POLVOS MODELO SEP 50 CON MOTOR DE 5 HP CON CAPACIDAD DE 300 A 800 KG/HR.

PRECIO \$ 72,100.00

10.- SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA MEDIANTE FILTROS PARA SOLIDOS, PARTÍCULAS Y LODOS, TINA CONSTRUIDA EN LAMINA GALVANIZADA BOMBA DE 2 HP.

PRECIO \$ 56,300.00

TRIUNFO 8 SAN LORENZO TLALMIMILLOPAN TEOTIHUACAN, EDO. DE MEXICO
TEL. (01) 594 956 8982

FABRICACIONES METALICAS Y EQUIPOS

M SOLEDAD SILVA MERCADO

11.- CENTRO DE CONTROL DE MAQUINAS (OPCIONAL)

CONSOLA DE CONTROL DE MAQUINAS CON INTERRUPTORES TEMOMAGNETICOS GENERAL Y POR MOTOR LÁMPARAS INDICADORA Y BOTONES PULSADORES. CON CIRCUITO DE CONTROL PARA FALLAS Y PAROS DE MAQUINAS Y CON ESPACIO PARA ANEXAR EQUIPOS ADICIONALES

NO INCLUYE ARRANCADOR ATR PARA 40 HP

PRECIO \$ 64,900.00

13.- ARRANQUE Y PUESTA A PUNTO

INSTALACIÓN Y AJUSTE DE LOS EQUIPOS, ASESORÍA Y CAPACITACIÓN DE OPERACIÓN

PRECIO \$ 37,400.00

PRECIO TOTAL: \$ 1,215,200.00

POTENCIA: 77.5 HP

CON EQUIPO OPCIONAL \$ 1,280,100.00

TIEMPO DE ENTREGA: 12 SEMANAS

CONDICIONES DE PAGO: 60 % DE ANTICIPO Y SALDO CONTRA ENTREGA

PRECIOS: SON MAS 16% DE I.V.A.

GARANTIA: POR UN PERIODO DE 12 MESES PUESTA EN MARCHA, EXCEPCION HECHA DE LAS PARTES NORMALES DE DESGASTE Y TODOS LOS COMPONENTES ELECTRICOS LOS CUALES HAREMOS EXTENSIVA LA QUE EL PROVEEDOR NOS OTORQUE. LA GARANTIA CADUCA EN EL MOMENTO Y EN EL CASO VERIFICADO DE MAL USO, MANTENIMIENTO INCORRECTO O INTRODUCCION DE CUERPOS EXTRAÑOS EN EL MISMO.

VIGENCIA DE ESTA COTIZACION HASTA EL 8 DE MARZO DE 2013; LOS PRECIOS COTIZADOS SON L. A. B. NUESTRA PLANTA EN SAN LORENZO TLALMIMILOLPAN, TEOTIHUACAN EDO. DE MEXICO Y ESTAN SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO.

SIN MAS POR EL MOMENTO Y ESPERANDO VERNOS FAVORECIDOS CON SU PREFERENCIA, QUEDAMOS COMO SUS AMIGOS Y SEGUROS SERVIDORES.

ATENTAMENTE

ING. SANTIAGO OSORIO B.
VENTAS

TRIUNFO 8 SAN LORENZO TLALMIMILOLPAN TEOTIHUACAN, EDO. DE MEXICO
TEL. (01) 594 956 8982

15.2 Anexo 2. Cotización de equipo por parte de fabricante chino.

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

QUOTATION
of
AUTOMATIC CRUSHING & WASHING & DRYING LINE
for HDPE/PP bottles , Capacity 300kg/



Supplier:

Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co., Ltd.

Address: Sanxing-economic-developing Zone, Zhangjiagang, Jiangsu Province, China

Post Code: 215624

Tel/fax: +86 512 58916766, 58916768, 58530888, 58570513

Mobile phone: +86 13506224031

Contact person: Roy Fang (Export manager)

E-mail: fangrgl@yahoo.cn fangrgl@gmail.com baixiong@bxkm.com

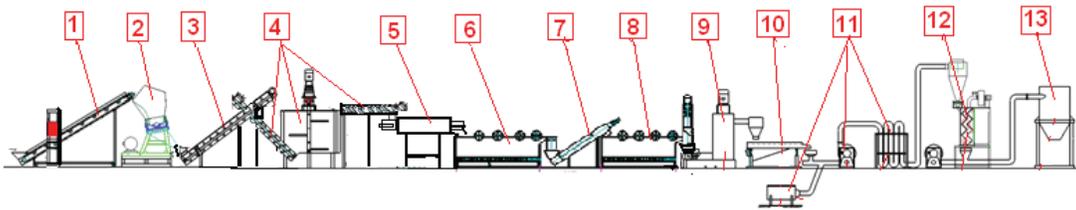
www.bxkm-machine.com

www.bxkm.com

OFFER SHEET

PART I AUTOMATIC CRUSHING & WASHING & DRYING

**LINE for HDPE/PP bottles , made by stainless steel
SS304, Capacity 300kg/**

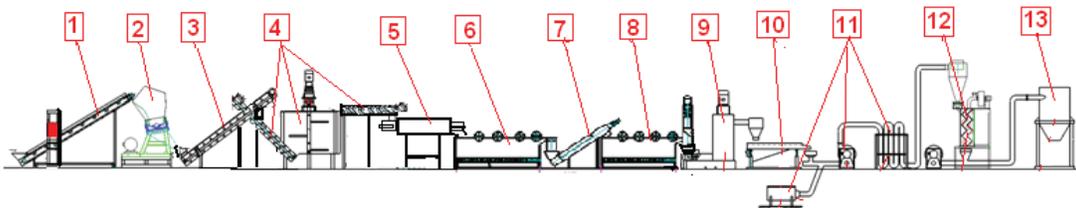


Price break down

Item	Description	Qty	Unit price
1	Belt conveyer with iron absorber	1	\$3,500--
2	Crusher	1	\$7,500--
3	Screw conveyer	1	\$3,500--
4	Hot washing tank (with electric heating) With inlet & outlet screw	1	\$11,200--
5	High speed Scrubbing washing unit	1	\$3,500--
6	Rinsing & precipitation washing tank 01	1	\$5,500--
7	Screw conveyer	1	\$3,500--
8	Rinsing & precipitation washing tank 02 With screw conveyer	1	\$7,000--
9	Centrifugal dryer	1	\$5,500--
10	Vibrosieve (powder dust separator)	1	\$800--
11	Electric heating drying unit	1	\$1,000--
12	Small paper and label separator	1	\$2,500--
13	Silo	1	\$800--
14	Electric control cabinet	1	\$4,500--
<p>Total price (FOB Shanghai): USD60,300.00/Complete line</p> <p>Containers needed for sea shipment : 2 containers of 40ft</p>			

PART II Specification of equipment

**AUTOMATIC CRUSHING & WASHING & DRYING LINE for HDPE/PP bottles ,
made by stainless steel SS304, Capacity 300kg/h**



Price break down

Item	Description	Qty
1	Belt conveyer with iron absorber	1
2	Crusher	1
3	Screw conveyer	1
4	Hot washing tank (with electric heating) With inlet & outlet screw	1
5	High speed Scrubbing washing unit	1
6	Rinsing & precipitation washing tank 01	1
7	Screw conveyer	1
8	Rinsing & precipitation washing tank 02 With screw conveyer	1
9	Centrifugal dryer	1
10	Vibrosieve (powder dust separator)	1
11	Electric heating drying unit	1
12	Small paper and label separator	1
13	Silo	1
14	Electric control cabinet	1

**Final PE/PP flakes size : ~10mm
Humidity of final PE/PP flakes: less than 2%**

Installation space: Total Line Length 35m * width 3.5m * height 4.5m

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

Total electric installation power: 210kw, 3 phase 460V 60Hz or as required actual consumption is 60% of full power .

Water supplying required : ~5 tons per hour water circulation

Operation persons required : 3 persons In the production line all units after crusher , which parts touch water or PE/PP flakes, is made by stainless steel SS304 Motors on the machine : BEIDE (SIEMENS China)

Gear reducers on the machine : brand KAIBO Temperature controllers on the machine : brand Omron Electric contactors and relays in the control panel : brand Siemens

Specification of the machines above

1	Belt conveyer with iron absorber
---	---



Description	Unit	
Motor power	kw	1.5
Transmission drive		By chains
Speed adjustment		By excitation device
Conveying belt width	mm	600
Conveying belt length	m	4.5 meters
Magnetic iron detector		Electric type strong magnetic

2	Wet Crusher
----------	--------------------



Description	Unit	SWP-800
Caliber of the feeding gate	mm	800×700
Compressing device for bottles (avoid bottles jumping inside the crushing chamber)		Yes, motor 2.2kw
Diameter of rotating knives	mm	450
Number of rotative knives	piece	6
Rotation speed of knives	rpm	480
Number of fixed knives	piece	4
Diameter of sieve plate holes	mm	12mm
Capacity	Kg/h	300~400 kg/h
Main motor power	KW	37

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

3	Screw conveyer
----------	-----------------------



Description	Unit	
Screw diameter	mm	300
Rotation speed of screw	rpm	51
Motor power	Kw	3.0
Screw length	mm	3500

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

4	Hot washing tank (with electric heating) With inlet & outlet screw	1
----------	---	----------



Description	Unit	
Container diameter	mm	1500
Volume	Liter	2500
Agitation speed	rpm	25
Agitator motor power	kw	7.5
Heating power	kw	72
Inlet screw motor power	kw	2.2
Outlet screw motor power	kw	2.2
Water filling control	Automatically	
Instalación for tank	Yes	

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

5	High speed Scrubbing washing unit	1
----------	--	----------



Description	Unit	
Barrel diameter	mm	300
Barrel length	mm	2000
Motor power	kw	11
Screw speed	rpm	500

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

6	Rinsing & precipitation washing tank 01	1
----------	--	----------



Item	Description	Unit	
1	trough length	mm	4000
2	trough width	mm	1500
3	Trough height	mm	1600
4	Pushing roller number	set	3
5	Pushing motor power	Kw	1.5
6	Poking fork motor power	Kw	1.1
7	Bottom screw diameter	mm	200
8	Bottom screw motor power	Kw	1.5
9	Side dirties discharging screw dia.	mm	150
10	Dirties discharge motor power	Kw	2.2

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

7	Screw conveyer	1
---	-----------------------	---



Description	Unit	
Screw diameter	mm	300
Rotation speed of screw	rpm	51
Motor power	Kw	3.0
Screw length	mm	2500

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

8	Rinsing & precipitation washing tank 02 With screw conveyer	1
----------	--	----------



Item	Description	Unit	
1	Trough length	mm	4000
2	Trough width	mm	1500
3	Trough height	mm	1600
4	Pushing roller number	set	3
5	Pushing motor power	Kw	1.5
6	Poking fork motor power	Kw	1.1
7	Bottom screw diameter	mm	200
8	Bottom screw motor power	Kw	1.5
9	Side dirties discharging screw diamater	mm	150
10	Dirties discharge motor power	Kw	2.2
11	Feeding screw diameter	mm	200
12	Feeding screw motor power	Kw	3.0

9	Centrifugal dryer for bottle flakes
----------	--



Description	Unit	
Barrel diameter	mm	360
Centrifugal motor power	kw	7.5
Charging motor power	kw	0.75

10	Vibrosieve (powder dust separator)
-----------	---



Description	Unit	
Screen diameter	mm	1000
Screen layer numbers		2
Motor power	kw	2 x 0.25

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

11	Electric heating drying unit
-----------	-------------------------------------



Item	Description	Unit	
1	Fan-suction motor power	Kw	5.5
2	Spiral pipe diameter	mm	168
3	Total working length of spiral pipe	meters	10
4	Heating capacity	Kw	36
5	Air temperature		~ 105 °C

12	Small paper and label separator
-----------	--



Description	Unit	
Paper suction fan power	kw	2.2
Flake delivering blower power	kw	3.0
Paper collecting filter bag		4

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

13	Silo
-----------	-------------



Description	Unit	
Container volume	L	1000
Discharge control		By valve
Figure Dimension outlet for jumbo bag	mm	1500×1500×3000

14	Electric control cabinet
-----------	---------------------------------



Description	Unit	
Required electricity		3 phases, 460V, 60Hz or as required
Electric elements brand		Brand: Siemens
Figure Dimension	mm	2000×800×1900

Spare parts list for Crushing washing line free

Item	Description	Unit	Quantity
1	Driving belts for crusher	set	1
2	Driving belts for high speed friction machine	set	1
3	Shaft seal for all screw unit	set	1
4	Shaft seal for high speed friction unit	set	2
5	Shaft seal for washing tank	set	1
6	Spare heaters for hot washing tank	Piece	9
7	Spare heaters for hot air drying	Piece	6
8	Blades for crusher	Set	Full set (10 pcs)

END

Part III PAYMENT, DELIVERY AND OTHERS

Payments terms: by divided payments of
30% T/T down payment and
70% before delivery
Or 100% irrevocable and confirmed L/C at sight, payable
against shipping documents.
Delivery time: 90 days upon down payment or L/C

BANK INFORMATION for payment :

● **BENEFICIARY BANK**

**CHINA CONSTRUCTION BANK ZHANGJIAGANG SUB-BRANCH 186
YANGSHE STREET (W.), ZHANGJIAGANG CITY, JIANGSU, CHINA
POSTCODE: 215600 FAX NO.: +86 512 58235987 SWIFT BIC: PCBCCNBJS5
Account: 32214011000229881168**

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

- **BENEFICIARY ZHANGJIAGANG BAIXIONG KLIMENS MACHINERY CO., LTD.**
Jinfeng Sanxing Economic-developing-zone, Zhangjiagang City, Jiangsu, China
Tel: +86 512 58530888, Fax: +86 512 58570513

Other terms

The seller will dispatch 1 engineer from the seller to the buyer's factory for installation and commissioning and training, the buyer should be responsible for the cost of visa, flight tickets, the room and board and local area transportation, and allowance USD50/day for each person of the engineer.

The customer has to supply skilled workers (mechanical fitters as well as electricians) in a sufficient number.

B. Documentation/随机文件

Baixiong Klimens Standard documentation (English version) in complete, consisting of:

- Plant installation drawing showing the interfaces of the Baixiong Klimens - supplied equipment with connections furnished by the customer, establishing their sittings.
- Flow diagram giving nominal pipe diameters of the machine.
- EI-CAD established electrical diagrams.
- Assembly drawings of the most important plant components, showing general layout characteristics such as main dimensions and operating data.
- Operating, maintenance and repair instructions with specifications.

C. GENERAL NOTES

- The quality of the concrete floor where the plant is to be installed must be to a standard of B25, with a minimum hole drilling depth of 200 mm. As a rule, special foundations are not required.
- Any possibly existing plant or equipment that could obstruct access to the site must be removed.
- The customer supplies the raw materials and makes available all auxiliary mediums required for running the plant as required.

D. Warranty for machinery: 12 months

张家港白熊科美机械有限公司
Zhangjiagang Baixiong Klimens Machinery Co.,Ltd

We trust that our quotation meets with your requirements and we will gladly furnish you with further information.

Yours faithfully Roy Fang Baixiong Klimens

End

15.3 Anexo 3. Cotización de equipo por parte de fabricante europeo.



MEXICO DF A 17 DE AGOSTO DE 2012
COT.DR.2573.12

HC SUSTENTA S.R.L. DE C.V.
PASEO DE LA REFORMA 64 PLANTA BAJA
COL. JUAREZ
DELEG. CUAUHTEMOC
MEXICO DF 06048
CEL: 044 55 4369 9603
Email: hcsustenta@gmail.com

ATENCION: SR. ANGEL MALDONADO

ATENDIENDO SU AMABLE SOLICITUD, PRESENTAMOS A SU
CONSIDERACION LA SIGUIENTE COTIZACION.

**SISTEMA DE LAVADO PARA ENVASES DE PET O POLIETILENO. PARA UNA
PRODUCCION DE 300 A 400 KG/HORA DE ENVASES DE PET.**

**SISTEMA DE LAVADO PARA PE Y PP CON CAPACIDAD DE SALIDA DE 500
HASTA 700 KG/HORA**

QUE DEPENDERA DEL TIPO Y PRESENTACION DEL MATERIAL

EL SISTEMA CONSISTE EN UNA BANDA TRANSPORTADORA (NO 1) QUE ALIMENTA AL MOLINO GRANULADOR (NO 2), QUE TRABAJA CON INYECCION DE AGUA; DEL MOLINO SE SACA EL MATERIAL A TRAVES DE UN TRANSPORTADOR AUGER (NO 3), QUE TIENE UNA SECCION DE LAMINA PERFORADA PARA ESCURRIR PARTE DEL AGUA QUE ENTRO AL MOLINO, EL AUGER ALIMENTA A UNA TINA DE FLOTACION (NO 4), LA TINA TIENE UN HUSILLO EN EL FONDO QUE ARRASTRA LOS MATERIALES QUE NO FLOTAN Y EN LA PARTE SUPERIOR A NIVEL DEL AGUA, PROPELAS QUE HACEN QUE AVANCE EL MATERIAL QUE FLOTA, EL MATERIAL SE DESCARGA A UN AUGEE DE DRENADO (NO 5) QUE DESCARGA PARTE EL AGUA DE LA TINA DE FLOTACION, ALIMENTA A LA CENTRIFUGA DE SECADO (NO 6), ESTE EQUIPO REMUEVE EL AGUA DEL MATERIAL Y PASA POR AIRE HACIA EL CICLON DE DESCARGA (NO 7), QUE DEJA CAER EL MATERIAL SOBRE EL EXTRACTOR (NO 8), QUE SUCCIONA EL MATERIAL Y LO ENVIA HACIA EL CICLON CON BASE PARA DESCARGAR A SUPERSACOS (NO 9).

DYCOMET, S.A DE C.V.

AV. DE LAS GRANJAS No. 758-B COL. STA. CATARINA C.P. 02250 MEXICO, D.F. TELEFONO. (55) 9172 0200 FAX: (55) 9172 0211

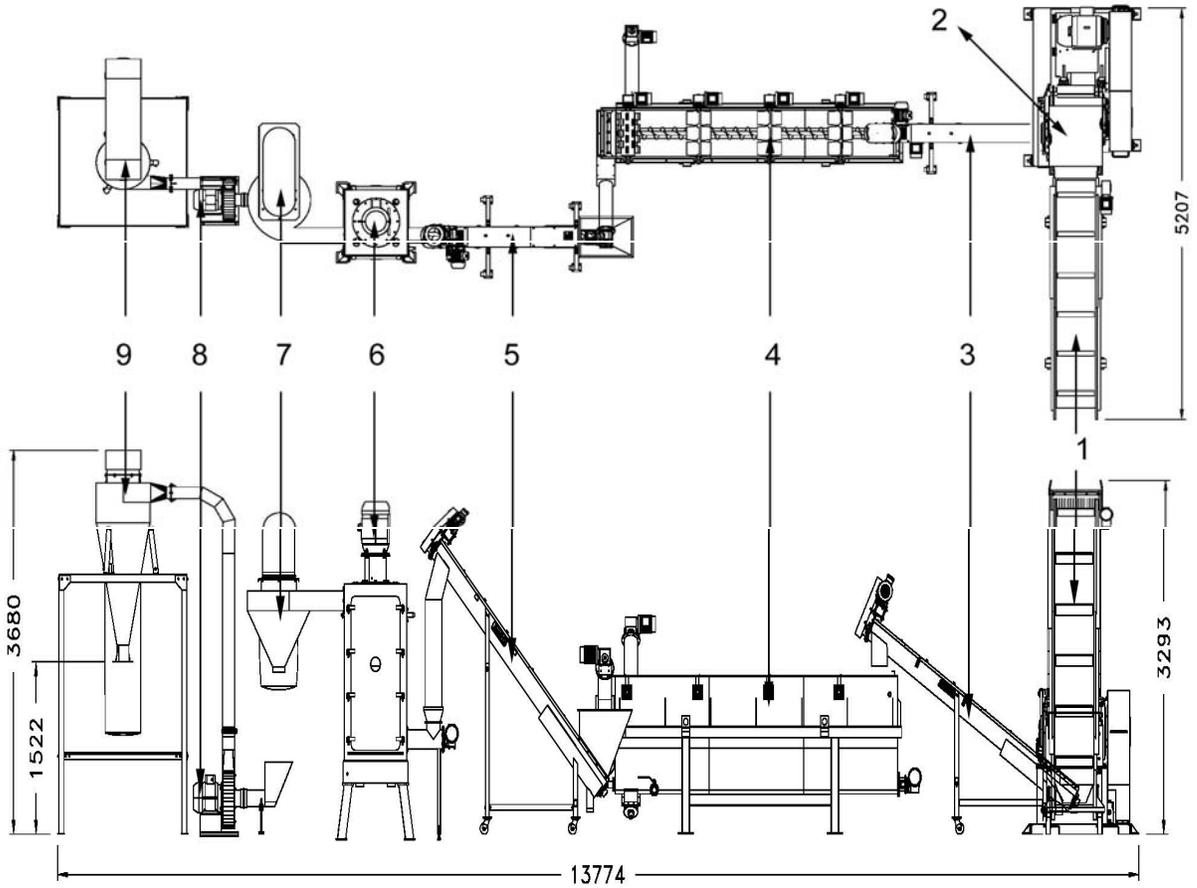
<http://www.pagani.com.mx> e-mail ventas@pagani.com.mx smh

PAGINA 1 DE 4

NO.	EQUIPOS	MOTORES HP
1	BANDA TRANSPORTADORA INCLINADA 4 METROS DE LARGO Y 50CM DE ANCHO DE LIGA, FABRICADA EN ACERO AL CARBON CON BANDA DE HULE NEGRO CON EMPUJADORES ACCIONADA POR MOTORREDUCTOR DE 1.5HP.	1.5
2	MOLINO MODELO 4060-CH-W, CON MOTOR DE 50HP, ROTOR DE 400 MM DE DIAMETRO Y 900 MM DE LARGO DE CUCHILLAS; 5 CUCHILLAS DE ROTOR Y 2 DE CAJA, PREPARADO PARA TRABAJAR CON INYECCION DE AGUA, CRIBA CON BARRENOS 7/16" (11.1. MM)	50
3	TRANSPORTADOR AUGER INCLINADO DE 6" DE DIAMETRO CON CRIBA DE DRENAJE.	1.5
4	TINA DE FLOTACION CON AGITADORES, HUSILLO DE FONDO, AUGER DE SALIDA DE PET Y AUGER DE SALIDA DE MATERIALES FLOTABLES. FABRICADA EN ACERO INOXIDABLE CON BASTIDOR DE ACERO AL CARBON.	10
5	TRANSPORTADOR AUGER INCLINADO DE 6" DE DIAMETRO CON CRIBA DE DRENAJE.	1.5
6	CENTRIFUGA TURBO VERTICAL DE ENJUAGUE CON CRIBA OCTAGONAL, CON AUGER DE ALIMENTACION. ROTOR Y CRIBA FABRICADO DE ACERO INOXIDABLE, BASTIDOR DE ACERO AL CARBON, MOTOR PRINCIPAL DE 25 HP Y AUGER DE ALIMENTACION DE 2 HP	27
7	CICLON DE DESCARGA DE ACERO INOXIDABLE	0
8	EXTRACTORGI-5-W DE5HP	5
9	CICLON CON DESCARGA PARA SUPERSACOS.	0
	PANEL DE CONTROL PARA CONTROLAR TODO EL SISTEMA.	0
	TOTAL HP	96.5
	PRECIO DEL SISTEMA USD \$	\$ 157,800 + IVA

PRECIO L.A.B., PLANTA DYCOMET, MEXICO, DF

DYCOMET, S.A DE C.V.
 AV. DE LAS GRANJAS No. 758-B COL. STA. CATARINA C.P. 02250 MEXICO, D.F. TELEFONO. (55) 9172 0200 FAX: (55) 9172 0211
<http://www.pagani.com.mx> e-mail ventas@pagani.com.mx smh



DYCOMET, S.A DE C.V.

AV. DE LAS GRANJAS No. 758-B COL. STA. CATARINA C.P. 02250 MEXICO, D.F. TELEFONO. (55) 9172 0200 FAX: (55) 9172 0211

<http://www.pagani.com.mx> e-mail ventas@pagani.com.mx smh

PRECIO L.A.B., PLANTA DYCOMET, MEXICO, DF

TERMINOS DE SUMINISTRO

INCLUYE PRUEBAS EN VACIO EN PLANTA DYCOMET, MEXICO, DF PRECIO
NO INCLUYE INSTALACION

DESPACHO

EMBALAJE Y FLETES DE LOS EQUIPOS, NO INCLUIDOS.

GARANTIA

LA GARANTIA ES DE 12 MESES, FECHA FACTURA. CONTRA DEFECTOS DE
FABRICACION, LAS PARTES ELECTRICAS Y COMERCIALES, LA GARANTIA
ES LA QUE PROPORCIONAN LOS PROVEEDORES DE DICHOS EQUIPOS.
ESTA GARANTIA NO INCLUYE LAS PARTES SUJETAS A DESGASTE.

TÉRMINOS DE ENVÍO TIEMPO DE ENTREGA: 14 SEMANAS, POSTERIORES A
LA CONFIRMACION DEL PEDIDO Y RECEPCION DEL ANTICIPO.

TÉRMINOS DE PAGO

50% DE ANTICIPO, 20% A LOS 60 DIAS DEL ANTICIPO, 30 % CONTRA AVISO
DE INICIO DE PRUEBAS EN PLANTA DYCOMET.

VIGENCIA DE LA COTIZACION: 30 DIAS

ATENTAMENTE.

ZEFERINO DOMINGO

VENTAS