

300618

19

2y



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

RECICLADO DE PLASTICOS MEDIANTE
METODOS DE MOLIENDA
CRIOGENICA:

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
CARLOS URBINA VILLASECA

Director de Tesis: M. C. José Luis González Díaz

México, D. F.

1990



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.

INDICE.

	<u>PAGINA.</u>
I. INTRODUCCION.	1
II. MARCO TEORICO EN PLASTICOS.	
2.1 Definición y naturaleza de los materiales.	11
2.2 Generalidades.	11
2.2.1 Monómero.	12
2.2.2 Polímero.	12
2.2.3 Resina.	12
2.2.4 Polimerización.	13
2.2.5 Homopolímero.	13
2.2.6 Copolímero.	13
2.3 Obtención de los plásticos.	14
2.4 Procesos de fabricación.	16
2.4.1 Método Directo.	16
2.4.2 Método en Solución.	16
2.4.3 Método en Suspensión.	16
2.4.4 Método en Emulsión.	17
2.5 Clasificación de los plásticos.	17
2.5.1 Por estructura química.	18
2.5.1.1 Comportamiento al calor.	18
2.5.1.2 Cristalinidad.	20
2.5.1.3 Presencia de monómeros.	21
2.5.1.4 Tacticidad.	23
2.5.2 Por consumo.	25
2.5.2.1 "Comodities."	25
2.5.2.2 Versátiles.	26
2.5.2.3 Especialidades.	26
2.6 Métodos de transformación.	27
2.6.1 Moldeo por extrusión.	28
2.6.2 Moldeo por inyección.	30
2.6.3 Moldeo por soplado.	32
2.6.4 Moldeo por termoformado.	36
2.6.5 Moldeo rotacional.	39
2.7 Aplicaciones y productos comerciales.	41
2.8 Métodos de identificación de plásticos.	44
2.8.1 Apariencia física.	44
2.8.2 Propiedades ópticas.	45

	<u>PAGINA.</u>
2.8.2 Densidad.	45
2.8.3 Comportamiento a la flama.	47
2.8.3.1 Combustibilidad.	47
2.8.3.2 Duración de la flama.	47
2.8.3.3 Color de la flama.	48
2.8.3.4 Alteración de la muestra.	48
2.8.3.5 Color de los humos.	49
2.8.3.6 Olor de los vapores.	49
2.9 Análisis comercial.	54
III. METODOS DE RECICLADO PARA PLASTICOS.	
3.1 Introducción.	58
3.2 Generalidades.	59
3.2.1 Residuos plásticos.	59
3.2.2 Residuos plásticos industriales.	59
3.2.3 Residuos plásticos de postconsumo.	59
3.2.4 Plásticos chatarra.	59
3.2.5 Desecho plástico.	60
3.2.6 Reciclado primario.	60
3.2.7 Reciclado secundario.	60
3.2.8 Reciclado terciario.	60
3.2.9 Reciclado cuaternario.	60
3.2.10 Ciclo comercial de los plásticos.	60
3.3 Reciclado primario.	62
3.3.1 Métodos de separación.	62
3.3.1.1 Proceso de separación Black-Clawson.	64
3.3.1.2 Sistema de recuperación Flakt.	67
3.3.1.3 Separación mezclas papel/plástico.	70
3.3.1.4 Separación coextrusiones plásticas.	76
3.3.1.5 Separación coextrusiones p/m/pp.	79
3.3.1.6 Separación de mezclas plásticas.	81
3.3.2 Procesos, maquinaria y equipo de molienda.	86
3.3.2.1 Granulado.	87
3.3.2.2 Triturado o molido.	93
3.3.2.3 Compactado.	109
3.3.2.4 Pelletizado.	111
3.4 Características de degradación en el reciclado	116
3.4.1 Modelos matemáticos.	123
3.5 Reciclado secundario.	128
3.6 Reciclado terciario.	130
3.7 Reciclado cuaternario.	132

IV. RECICLADO MEDIANTE MOLIENDA CRIOGENICA.	
4.1 Introducción.	134
4.2 Generalidades.	135
4.3 Métodos de molido criogénico.	137
4.3.1 Molienda criogénica de piezas grandes y/o completas.	137
4.3.2 Molienda criogénica de piezas ensambladas con metales.	154
4.3.3 Molienda criogénica de termofijos y elastómeros.	159
4.3.4 Molienda criogénica de hules y fibras plásticas.	166
4.3.5 Molienda criogénica de cables eléctricos.	174
4.4 Análisis económico.	180
4.4.1 Evaluación del flujo de descuento efectivo	181
4.4.2 Análisis de Sensibilidad.	184
V. USOS Y APLICACIONES DEL MATERIAL RECUPERADO.	
5.1 Introducción.	187
5.2 Termoplásticos.	187
5.2.1 Poliolefinas.	187
5.2.1.1 Polietileno de baja densidad	187
5.2.1.2 Polietileno de alta densidad	188
5.2.1.3 Polietileno ultra alto peso molecular	188
5.2.1.4 Polipropileno.	188
5.2.1.5 Copolímero etileno-acetato vinilo.	188
5.2.2 Polímero vinílicos.	189
5.2.2.1 Cloruro de polivinilo flexible.	189
5.2.2.2 Cloruro de polivinilo rígido.	189
5.2.3 Polímeros estirénicos.	189
5.2.3.1 Poliestireno cristal.	189
5.2.3.2 Poliestireno medio impacto.	189
5.2.3.3 Poliestireno alto impacto.	189
5.2.3.4 Poliestireno expansible.	190
5.2.3.5 Copolímero estireno-butadieno.	190
5.2.3.6 Acrilonitrilo-butadieno-estireno.	190
5.2.3.7 Copolímero estireno-acrilonitrilo.	190
5.2.4 Acrílicos.	190
5.2.4.1 Policrilil-metacrilato.	190

	<u>PAGINA.</u>
5.2.5 Acetales.	191
5.2.5.1 Polioxido de metileno.	191
5.2.6 Poliamidas.	191
5.2.6.1 Nylon 6	191
5.2.6.2 Nylon 6/6	191
5.2.7 Poliésteres.	191
5.2.7.1 Polibutilen-tereftalato.	191
5.2.7.2 Polietilen-tereftalato.	191
5.2.7.3 Policarbonatos.	192
5.2.8 Polímeros uretánicos.	192
5.2.8.1 Poliuretano termoplástico.	192
5.3 Termofijos.	192
5.3.1 Poliésteres.	192
5.3.1.1 Poliéster insaturado.	192
5.3.1.2 Poliéster insaturado y fibra vidrio.	193
5.3.2 Polímeros uretánicos.	193
5.3.2.1 Poliuretano espuma flexible.	193
5.3.2.2 Poliuretano espuma rígida.	193
5.3.3 Silicones.	193
5.3.3.1 Silicón.	193
5.3.4 Polímeros fenólicos.	193
5.3.4.1 Resina fenólica.	193
5.3.4.2 Melamina.	194
5.3.5 Polímeros epóxicos.	194
5.3.5.1 Resina epóxica.	194
VI. CONCLUSIONES.	195
VII. BIBLIOGRAFIA.	198.

CAPITULO I:

INTRODUCCION.

CAPITULO I

INTRODUCCION.

Desde tiempos remotos el clima y la ecología pueden ser hostiles e inflexibles para todas y cada una de las especies vivientes dentro del ecosistema en el cuál se desarrollan, pero desde la existencia del hombre sobre la faz de la tierra, este ha presentado un instintivo afán de conquistar la naturaleza donde puede lograrlo, y de hallar fórmulas de compromiso en caso contrario siendo hasta la Revolución Industrial, cuando el hombre fué capaz de arañar la superficie de su planeta, y no hizo tantos estragos en la naturaleza como para dañarla. Cuando se propasó en su codicia fué invariablemente castigado: sus presas reventaron, sus cosechas fallaron y sus animales murieron. Todos estos desastres, sin embargo, tan sólo tuvieron una dimensión local.

La tecnología y la explosión demográfica mundial han alterado el equilibrio entre las necesidades del hombre y la capacidad de la tierra por satisfacerlas. Las naciones industrializadas, además de necesitar más alimentos, más energía eléctrica y más materias primas, han desarrollado estilos de vida que dependen, literalmente, del saque del medio natural. No sólo tomamos de la tierra más de lo que le devolvemos, sino que hacemos mal uso de la mayor parte de sus productos, y permitimos que nuestros residuos contaminen el aire, el agua y el suelo. Esto a su vez, reduce más aún la riqueza y variedad de la naturaleza, factores de los que dependen todos los seres vivientes. La contaminación constituye una de las amenazas más graves para nuestro mundo, y ha originado un gran dilema: no podemos volver a un estilo de vida pre-industrial pero debemos aprender a controlar las actividades de una sociedad moderna que sabemos que está contaminando a nuestro planeta.

Es bien sabido que conforme el tiempo avanza, los tipos de contaminación existentes aumentan incrementando las tasas de peligro para los habitantes y seres vivientes localizados sobre la faz de la tierra. Todos estos tipos de contaminación aportan algo a la misma desmejorando la salud y el bienestar humano. Dentro de la misma palabra de contaminación y como se mencionó anteriormente existen diferentes tipos de la misma implicados, cada uno de ellos implica la adición al medio ambiente de una sustancia o forma de energía (calor, ruido, radioactividad, etc.), potencialmente perjudicial para la vida, a un ritmo superior a la que el medio ambiente puede asimilar.

Dentro de todos y cada uno de los tipos de contaminación existentes el más importante de ellos es el de contaminación de sólidos o desechos acompañada de la contaminación ambiental por el desprendimiento de gases tóxicos a la atmósfera. En el caso específico de la contaminación de sólidos o desechos, la basura, la forma primaria de contaminación se encuentra formada por una serie de compuestos diversos que en su forma son nocivos para la salud ya que fomentan la formación de plagas indeseables, insalubridad en el ambiente donde se encuentran y sobre todo la proliferación de enfermedades contagiosas.

Los utensilios de acero hasta la primera mitad del siglo formaban en mayor parte el componente principal de la basura, ya que era posible encontrar artículos de acero esmaltado o galvanizado, en cubos, palanganas, latas, etc. estos desechos, los cuales presentan una duración de 10 o más años, cuando se deterioraban hasta tal punto era imposible realizar una reparación en ellos - por lo que se tiraban como chatarra, o bien se utilizaban en la fundición de nuevo hierro o acero, o seguían oxidándose de manera inofensiva en los tiraderos. Esto provocaba un alto índice de contaminación por desechos metálicos que hasta en tiempos pasados era imposible reutilizar. Hoy en día, la mayoría de estos elementos han sido reemplazados por artículos fabricados con materiales termoplásticos, que tienen una menor duración de vida, se deterioran de forma que se hace imposible su reparación lo cual en la actualidad a pesar del beneficio sobre los materiales metálicos, han contribuido al crecimiento de montañas de escombros.

Como ya se mencionó indirectamente, los materiales plásticos se introdujeron a consecuencia de sus múltiples aplicaciones y de su gran rentabilidad en todos los sectores de la vida cotidiana.

En realidad, ni desde los más simples métodos de envase y empaque hasta los más avanzados sistemas de comunicación, en la actualidad serían posibles si no existirían los plásticos.

Los polímeros y en su forma comercial plásticos han incrementado en gran magnitud la calidad de vida del ser humano. Todos los días vemos como millones de árboles se salvan gracias a la aplicación de plásticos como sustitutos de la madera, más de un millón de personas en todo el mundo se encuentran aún con vida debido a las arterias de plástico implantadas en sus cuerpos, los diques se vuelven verdes como el resultado de avanzados sistemas de riego - donde se aplican potencialmente las propiedades de los plásticos, sin los plás

ticos, el consumo de combustible en los sistemas de transporte se incrementaría cuando menos tres veces de los que es en la actualidad.

Sin embargo, no todo es beneficioso, los desechos de material plástico que se generan a lo largo de su trayectoria de fabricación hasta su consumo final ocasionan graves problemas si no son tratados adecuadamente. Esta situación - se ve afectada grandemente por el hecho de que existen alrededor de cincuenta clases distintas de plásticos económicamente importantes en todo el mundo. Debido a los problemas ocasionados, en algunos países del mundo se han llevado a cabo ciertas disposiciones parlamentarias que prohíben el uso del plástico en sectores de envase de alimentos principalmente y algunas otras áreas de aplicación igualmente importantes.

Por otro lado, en un esfuerzo por disminuir nuestras modernas montañas - de escombros, algunas autoridades han promovido la idea de fabricar plásticos degradables, elaborados de tal forma que puedan acelerarse sus normalmente - lentos procesos de envejecimiento y descomposición. Esta teoría es en términos generales buena, aunque todavía resulta costoso el hecho de poder desarrollar ese tipo de polímeros.

Por supuesto, esto no es del todo razonable, porque aunque se sabe que no es posible evitar los desperdicios a lo largo del proceso de producción de un producto plástico sin mencionar las descargas de algunos humos tóxicos para la salud del medio ambiente, existen diversos métodos para su tratamiento, y si además se evita que los desperdicios de los productos plásticos después de su uso lleguen a la basura, estos resultan ser una fuente importante de materia prima de alto valor y buena oportunidad de negocio.

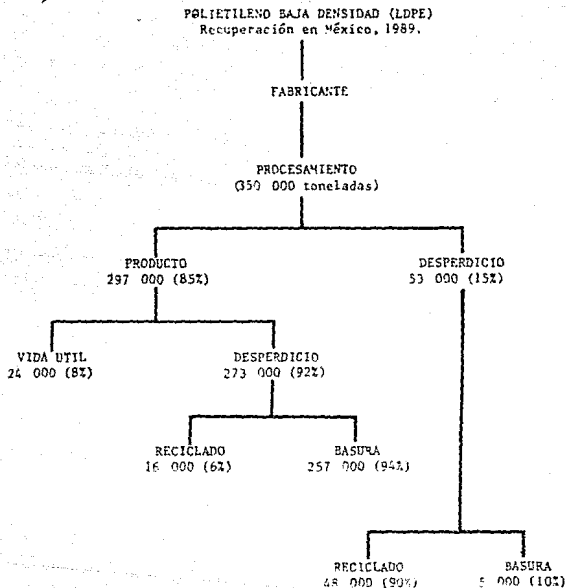
En México, la situación actual de generación de basura plástica se ha - vuelto un grave problema, ya que el consumo de los mismos se ha orientado al sector de envase y empaque con productos que tienen una vida útil máxima de - 72 horas promedio. Tal es el caso de las poliolefinas representadas en su mayor parte por el Polietileno de Baja Densidad, del cual, su uso se encuentra orientado en un 80% a la fabricación de película soplada para bolsas.

Los plásticos que ocupan el 74% del consumo total de plástico en México son el Polietileno de alta y baja densidad, el cloruro de polivinilo, el poliestireno y el polipropileno.

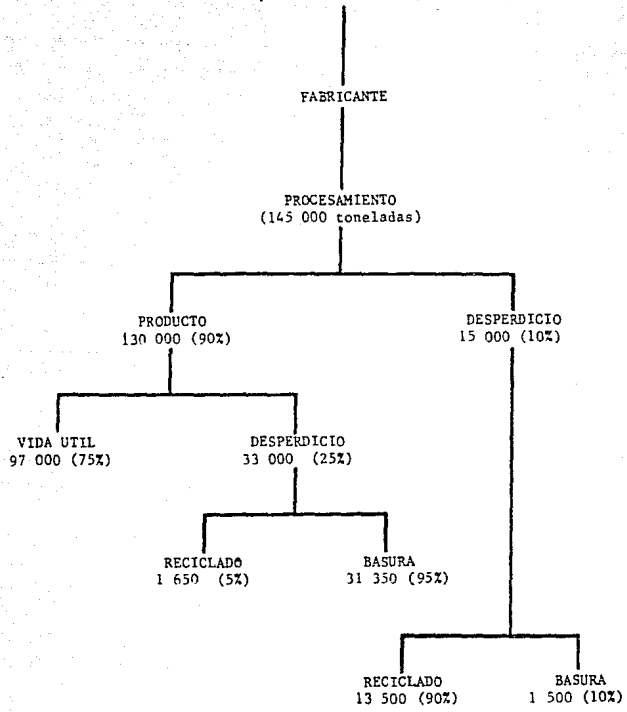
La producción de desperdicios en la industria del plástico se inicia desde la obtención de la materia prima petroquímica hasta el consumidor final pasando por el fabricante de la resina, el transformador y el consumidor indus-

trial. La responsabilidad de no generar dichos desperdicios, o bien de reciclarlos, existe en cada etapa de la trayectoria mencionada con anterioridad.

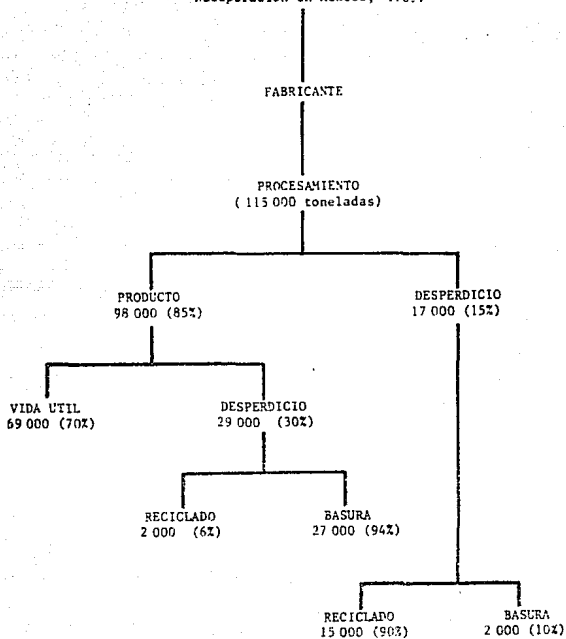
La producción de desperdicios plásticos varía de acuerdo al tipo de material y sus diversas áreas de aplicación. Para poder entender más claramente este tipo de conceptos, se muestra a continuación una serie de diagramas estadísticos de los cinco plásticos más importantes a nivel de consumo en México y la ruta que estos siguen a través del tiempo de vida útil que los mismos presentan.



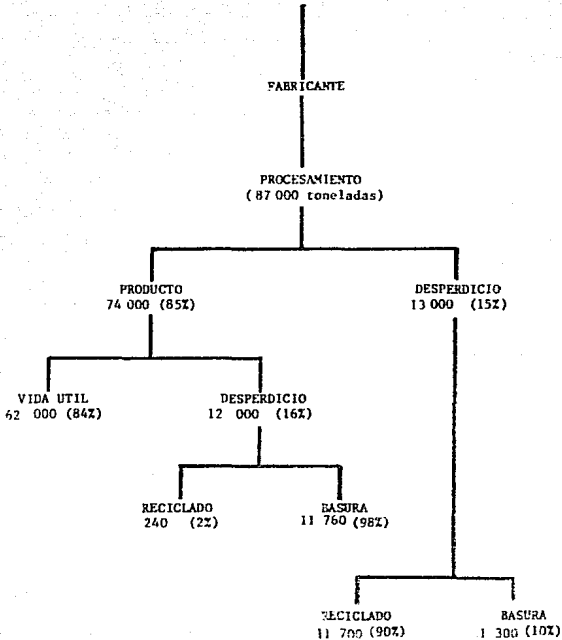
POLIETILENO ALTA DENSIDAD (HDPE)
Recuperación en México, 1989.

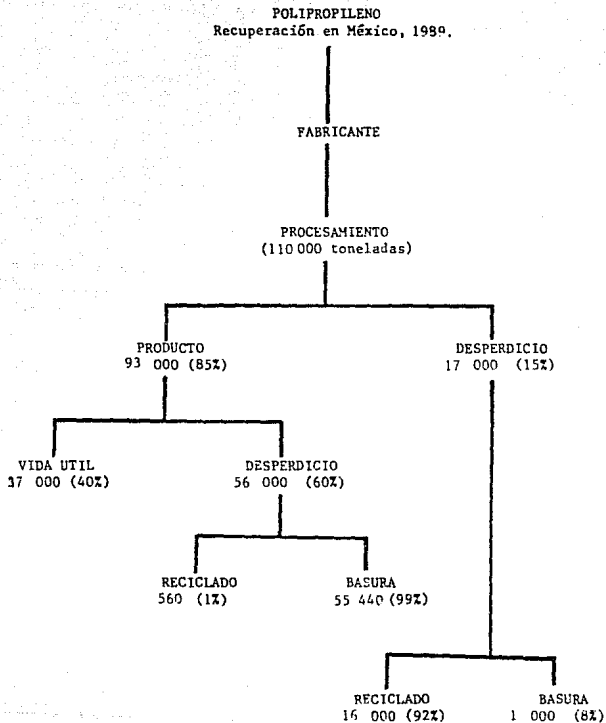


CLOURO DE POLIVINILO (PVC)
Recuperación en México, 1989.



POLIESTIRENO.
Recuperación en México, 1999.





NOTA: Los datos aquí mostrados fueron tomados del Estudio Mercadotécnico realizado por ULTRAPLAST, con respecto al consumo de los principales polímeros.

El consumo de plásticos en México durante 1988 fué aproximadamente de un millón de toneladas, de las cuales, el 52% se encuentra en vida útil, el 16% equivale a la recuperación de desperdicios que se produjeron durante el ciclo de producción de diversos artículos de plástico y el 32% del consumo después de su uso se fué directamente a la basura.

El material que genera mayor cantidad de basura es el polietileno de baja densidad seguido en segundo término por el polipropileno. Sin embargo, la situación actual para los demás plásticos no es tan grave como el caso de los anteriores, ya que su mayor porcentaje se encuentra contenido dentro del concepto de vida útil.

Afortunadamente para beneficio de estas cantidades de basura plástica, - cabe decir que tecnología genera tecnología, y así como se han desarrollado - infinidad de técnicas para la creación y mejoramiento de materiales plásticos también existen tecnologías para el reciclado de plásticos, algunas de las cuales pueden resolver el problema de los desperdicios plásticos a corto plazo - y algunas otras a largo plazo.

Es por esta razón que este estudio intenta mostrar de manera general las técnicas empleadas para el reciclado de plásticos y de manera muy particular - uno de los métodos que ha venido a revolucionar la tecnología del reciclado, es decir, el reciclado de plásticos mediante los métodos de molienda criogénica. El tratado sugiere la forma y técnica manejadas para poder llevar a cabo de manera práctica el reciclado de los desechos plásticos, ya que no es suficiente el dejar de esparcir nuestros materiales de desecho por la tierra; también debemos de reconsiderar nuestras relaciones con el resto del mundo viviente.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO EN PLASTICOS.

CAPITULO II
MARCO TEORICO EN PLASTICOS.

2.1 DEFINICION Y NATURALEZA DE LOS MATERIALES PLASTICOS.

A través de los tiempos el ser humano ha llamado "PLASTICOS" a los materiales de caracter orgánico que dentro de su estructura incluyen sustancias - inorgánicas, que bajo la influencia de presión y/o temperatura pueden ser moldeados para que posteriormente estos conserven la forma proporcionada.

La mayoría de los plásticos son productos derivados de la química orgánica, es decir, que el componente principal de su estructura química es el carbono C, además de poder presentar otros elementos tales como: nitrógeno N, hidrógeno H, oxígeno O y azufre S. Gracias a las sustancias orgánicas donadas - por la naturaleza hemos tenido por siglos materiales "plásticos naturales", - siendo hasta ahora que podemos disponer de diferentes tipos de plásticos "sintéticos" para infinidad de aplicaciones, que van desde artículos desechables hasta artículos de larga vida útil.

Como ya se mencionó, algunos plásticos son naturales y otros son semisintéticos. Algunos de ellos mantienen su habilidad para ser reblandecidos por la aplicación de calor una vez que han sido moldeados, este tipo de materiales reciben el nombre de "termoplásticos", mientras que aquellos que permanecen estables a la aplicación de calor se les denomina "termofijos".

Actualmente los plásticos tienen una gran demanda en el mercado ya que - estos se pueden hacer a la medida de las necesidades y proporcionar una solución óptima técnica y económicamente.

Esta aceptación a sido tal que en casi todos los sectores podemos encontrar aplicaciones de plástico como es el caso de: Construcción y Decoración, Electrónica, Hogar, Medicina, Industria Automotriz, Agricultura, Papelería, - y muchos campos más que podríamos mencionar.

2.2 GENERALIDADES EN PLASTICOS.

Los plásticos forman parte de la familia de los "polímeros" con la característica principal de que pueden ser moldeados, encontrando dentro de los - mismos una serie de definiciones necesarias para poder entender la terminología de los mismos.

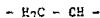
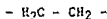
2.2.1 Monómero.

Es un compuesto químico no saturado, cuyas moléculas contienen carbono y en donde los átomos de carbono están unidos por un doble enlace. Esta molécula es de estructura sencilla y de bajo peso molecular además de no estar mezclada con ningún otro componente.



2.2.2 Polímero.

Es un producto orgánico natural, artificial o sintético, de elevado peso molecular, formado por unión, mediante enlaces químicos, de una o pocas unidades moleculares elementales, llamadas monómeros, que en elevado número y determinado orden, se repiten en la agrupación molecular. Las propiedades de dichos productos se encuentran determinadas por el tamaño de la cadena además de que el número de monómeros contenidos dentro del polímero recibe el nombre de grado de polimerización.



2.2.3 Resina.

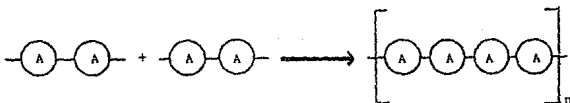
Es un producto orgánico de origen natural o sintético, generalmente de alto peso molecular. La mayor parte de las resinas son polímeros, que se presentan en forma de líquido viscoso o espeso y en forma de polvo muy soluble.

2.2.4 Polimerización.

Es el proceso por el cual los polímeros sintéticos se forman a partir de la unión de monómeros. En la polimerización se rompen los dobles enlaces de los monómeros, que se unen entre sí formando una cadena muy grande sin que se presente la formación de productos secundarios.

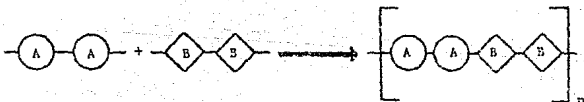
2.2.5 Homopolímero.

Es un polímero obtenido de un monómero único con la ayuda de agentes iniciadores conocidos comúnmente como catalizadores que generalmente son peróxidos orgánicos.



2.2.6 Conopolímero.

Se presenta cuando aparece una polimerización entre dos o más monómeros de diferente tipo, mejorando así las propiedades del producto polimerizado puro.



2.3 OBTENCION DE LOS PLASTICOS.

En la actualidad los plásticos se producen predominantemente de dos materias primas: Petróleo y Gas Natural.

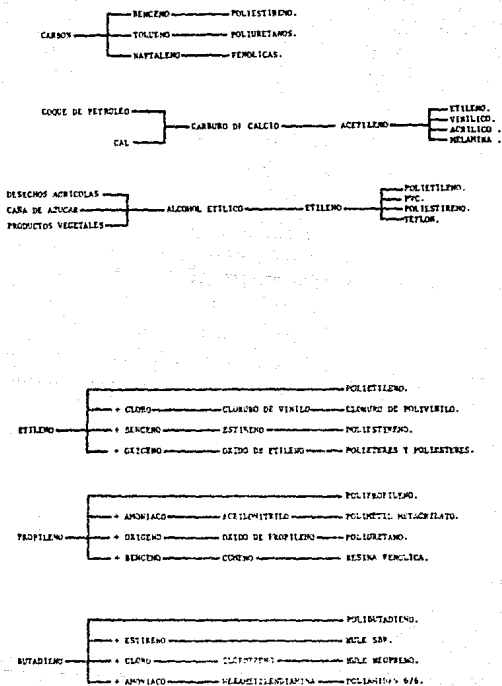
Otras alternativas son materiales naturales como el carbón mezclado con cal, que da lugar al carburo de calcio para este producir a su vez el acetileno; la madera y a nivel de laboratorio se aprovechan los desechos orgánicos, caña de azúcar y productos vegetales.

Las últimas mencionadas no se han explotado a nivel industrial ya que se requieren grandes cantidades de materia prima y solo proporcionan cantidades mínimas de producto terminado.

A partir del petróleo obtenemos al etileno, propileno y butadieno los cuales se consideran como materias primas básicas para la fabricación de una extensa variedad de monómeros. Cabe aclarar que el propileno y butadieno se pueden obtener a partir del etileno y considerarlos como subproductos de este. Después de haber obtenido etileno, propileno o butadieno considerados dentro del grupo de los petroquímicos básicos, se adicionen diferentes compuestos a cada uno de ellos dando lugar a los monómeros de partida de diferentes plásticos.

El gas natural se utiliza principalmente para la producción de acetileno y metanol, ya que de éste último se obtiene el formaldehído que sirve como materia prima para los Poliacetales. Del gas natural parten el propileno y etileno pero en proporción mucho menor que del Petróleo, debido a que su proceso tiene un costo más elevado.

MATERIAS PRIMAS BASICAS PARA ELABORAR PLASTICOS.



2.4 PROCESOS DE FABRICACION.

Para la fabricación de polímeros se han desarrollado hasta nuestros días cuatro métodos:

- * Método Directo.
- * Método en Solución.
- * Método en Suspensión.
- * Método en Emulsión.

2.4.1 Método Directo.

En este método el monómero puro se hace reaccionar con aditivos dentro de un reactor agitado. El polímero se mantiene en un estado líquido fundido gracias al calor de reacción generado, mientras que el calor exotérmico producido es mayor de lo que sería deseable, por lo que es necesario enfriar. Este método exige una gran vigilancia y control de la temperatura debido a los constantes cambios de la misma, por lo que sólo tiene aplicación económica cuando se requieren polímeros especiales de alta calidad. El producto final obtenido se presenta a manera de "bloque" y no como polvo o grano.

2.4.2 Método en Emulsión.

En este caso el monómero se diluye en un solvente acompañado por el catalizador. Al no poder recuperar en diversas ocasiones dicho solvente, el procedimiento resulta caro y únicamente se utiliza cuando no se desean masas sólidas, sino sólo disoluciones. Durante el proceso la temperatura puede elevarse demasiado, por lo que es necesario el uso de un reactor agitado. Una vez llevado a cabo el tiempo de reacción el producto de polimerización, precipita formando un polvo fino el cual se puede aislar cuando este está completamente seco.

2.4.3 Método en Suspensión.

Esta polimerización en suspensión o en perlas suministra un produc-

to de alta calidad además de ser la técnica más utilizada por su gran sencillez. Dentro del procedimiento se mezclan el monómero y el iniciador para ser dispersados en agua, mediante un sistema de agitación que mantiene ésta suspensión a lo largo de toda la reacción, controlando a su vez y de manera simultánea la temperatura. El producto final tiene la apariencia de pequeñas perlas.

2.4.4 Método en Emulsión.

Aquí el monómero finamente dividido se emulsiona en agua o en cualquier otro líquido dispersante. Cuando se manejan cantidades grandes de esta emulsión, donde se ha adicionado el monómero junto con un aditivo emulsionante, el control de la temperatura es relativamente fácil y sencillo. El desarrollo de la reacción es mucho más rápido que en los otros métodos de polimerización además de proporcionar productos finales con un mayor peso molecular.

2.5 CLASIFICACION DE LOS PLASTICOS.

En la actualidad existen una gran cantidad de tipos diferentes de plásticos, es por ello que el comportamiento y las características finales de los mismos constituyen un factor importante para determinar su uso.

Se han realizado diversos intentos por clasificar a los plásticos, pero básicamente podemos mencionar que sólo existen dos clasificaciones importantes de los mismos: Por su estructura química, ya que es ésta quien determina las propiedades finales y Por su consumo. Por lo cuál tenemos:

* POR ESTRUCTURA QUIMICA.

- Comportamiento al calor.
- Cristalinidad.
- Presencia de monómeros.
- Tacticidad.

* POR CONSUMO.

- "Comodities." De uso general.
- Versátiles.
- Especialidades.

2.5.1 Por estructura química.

Las propiedades de los plásticos se encuentran determinadas por la naturaleza física y química de los polímeros, por esta razón la estructura y los elementos que la constituyen influyen de manera distinta en las propiedades de los materiales dando como resultado una serie de productos diferentes y variados.

2.5.1.1 Comportamiento al calor.

Se encuentran agrupados en dos clases: Termoplásticos y Termofijos. En el primer caso, este término se aplica a todos aquellos materiales que se reblandecen y fluyen por la aplicación de calor y/o presión, con lo cual se pueden moldear constantemente, aunque dependiendo del polímero manejado y la degradación química el número de ciclos de moldeo se limita. La ventaja de estos materiales consiste en la facilidad de reciclado cuando algunas piezas son rechazadas o se rompen dentro del manejo de las mismas, mediante un molido y recalentado del material. Estos materiales presentan dos tipos de estructura lineal, de acuerdo con los siguientes esquemas:

RAMIFICADA.



NO RAMIFICADA.



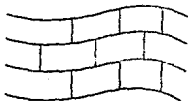
Debido a estas estructuras los termoplásticos tienen uniones - muy débiles y es por esto que cuando son sometidos a calor intenso, su estructura se ablanda y así poder fluir fácilmente.

Dentro de este grupo de plásticos podemos encontrar:

- Polietilenos.
- Polipropilenos.
- Vinilos.
- Acrílicos.

En el segundo caso, es decir, el de los termofijos, éstos son materiales que no se reblandecen con la aplicación de calor una vez que han sido transformados. Muchas de las resinas que se usan actualmente curan por la acción de catalizadores que no requieren la aplicación de calor y todos ellos presentan una estructura química de cadenas entrecruzadas, lo que limita el movimiento de sus moléculas proporcionándole dureza a este tipo de matriales. A diferencia de los termoplásticos, las uniones entre molécula y molécula son muy fuertes y por ésta razón no fluyen con la aplicación del calor, sino por el contrario, se presenta una degradación que puede llegar a la destrucción del material.

CADENA ENTRECruzADA.



Dentro de este grupo encontramos:

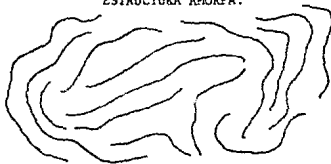
- Resinas Fenólicas.
- Poliésteres.
- Epóxicas.
- Ureicas.
- Poliuretanos.
- Silicones.

2.5.1.2 Cristalinidad.

Una de las características importantes dentro de los plásticos se encuentra determinada por el acomodo de sus moléculas en las cadenas del polímero lo cuál causa una ramificación en la clasificación de los plásticos por su cristalinidad: Amorfos (Transparentes) y Cristalinos (Opacos).

Dentro de los polímeros amorfos las moléculas se encuentran en completo desorden, por lo que dejan pasar la luz entre los huecos que se forman. Este desorden dentro de las moléculas del material provoca una transparencia en los mismos. Una buena analogía es comparar este fenómeno con un plato de espaguetis.

ESTRUCTURA AMORFA.



Los materiales que presentan dicha estructura amorfa son:

- Policarbonatos.
- Poliestirenos.
- Acrílicos.
- PVC.

Por otro lado los polímeros cristalinos poseen cadenas moleculares parcialmente ordenadas por lo que el paso de la luz se dificulta. La -

crystalinidad en este tipo de plásticos consiste en cientos de pequeñas islas de regiones acomodadas que juntas forman en bloque de paso a la luz, dando por resultado materiales translúcidos u opacos.

ESTRUCTURA CRISTALINA.



El porcentaje de cristalinidad puede variar de bajo (plásticos como poliestireno), moderado (polietileno de baja densidad) y muy altos (teflón y muchos tipos de poliamidas).

2.5.1.3 Presencia de Monómeros.

Cuando se introdujeron los polímeros sintéticos dentro de la Industria del Plástico, todos ellos se producían mediante la polimerización de un sólo tipo de monómero, pero conforme la tecnología y la producción fué avanzando se encontró que la mezcla de dos o más monómeros diferentes modificaban las características de estos, dotando a los mismos de propiedades distintas o superiores a las que se ofrecían con los polímeros puros.

Actualmente los plásticos se polimerizan con monómeros de la misma especie, o de tipos diferentes.

Cuando se tiene la presencia de un sólo tipo de monómero, el producto obtenido recibe el nombre de "homopolímero".

HOMOPOLIMERO.



Ejemplos de este tipo de polímeros son:

- Polietileno.
- Polipropileno.
- Poliestireno.

Cuando dos o más monómeros diferentes se polimerizan conjuntamente, el polímero resultante recibe el nombre de "copolímero" o heteropolímero. En este caso, los monómeros pueden acomodarse en distintas formas dentro de la cadena, dichas formas pueden ser: Al azar, en bloque, alternado o a manera de injerto.

En el caso de la estructura realizada al azar, el acomodo de las moléculas no llevan una secuencia específica.

COPOLIMERO AL AZAR.



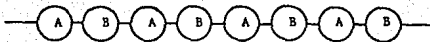
Cuando hablamos de un copolímero en bloque, las moléculas dentro de la cadena toman lugar por grupos definidos.

COPOLIMERO EN BLOQUE.



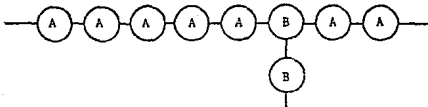
En los copolímeros alternados las moléculas se unen alternando un monómero y otro.

COPOLIMERO ALTERNADO.



Quando se presentan los injertos en los copolímeros, se tiene una cadena principal con monómeros del mismo tipo donde se injertan pequeñas cadenas de otro tipo de monómero.

COPOLIMERO EN INJERTO.



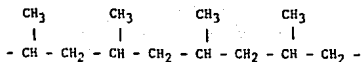
Las propiedades finales de los productos manejados se encuentran determinadas por la posición que los monómeros tomen a lo largo de las cadenas. Cabe mencionar que la copolimerización entre dos monómeros ha sido objeto de muchos estudios, mientras que las mezclas de tres o más compuestos polimerizables, provocan grandes dificultades debido al número de variables que estos presentan.

2.5.1.4 Tacticidad.

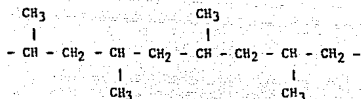
Dentro de este tipo de clasificación influye de forma directa el acomodo final de las moléculas dentro del polímero. De acuerdo a este acomodo se han logrado determinar tres configuraciones diferentes: isotáctica, -

Sindiotáctica y Atáctica.

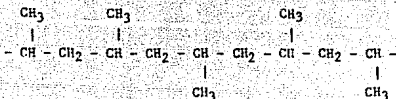
En el caso de la primera configuración, la isotáctica, la conformación en el carbono ramificado es tal que los grupos se encuentran del mismo lado. Estos polímeros son sumamente cristalinos es decir opacos.



La segunda configuración, sindiotáctica, los grupos ramificados se encuentran alternados de manera regular a lo largo de toda la cadena.



En la configuración final, atáctica, los grupos ramificados se disponen al azar a lo largo de toda la cadena polimérica.



Cabe mencionar que existen una serie de materiales llamados "elastómeros" que aunque son materiales plásticos, estos se encuentran aislados debido a que su mercado se encuentra canalizado a sustituciones de hule natural. Este tipo de materiales presentan la característica de modificar su forma cuando se someten a esfuerzos grandes y recuperar la misma cuando dicho

esfuerzo es retirado. Estos poseen un menor grado de entrecruzamiento que el caso de los termofijos, por lo cuál se pueden reblandecer mediante la acción de calor sin llegar a que estos fundan. Los productos finales se encuentran aplicados a aquellas necesidades de gran resistencia química y alta resistencia a la abrasión.

2.5.2 Por consumo.

Una clasificación completa de los plásticos según la aplicación y los niveles de consumo no es fácil, dadas las innumerables posibilidades que presentan en este aspecto. Sin embargo se ha logrado determinar tres grandes grupos de clasificación.

2.5.2.1 "Comodities."

Es el grupo de polímeros que presentan un alto índice de consumo, quedando dentro del mismo todos aquellos que tienen características en común. Estas propiedades se pueden sintetizar en la lista que a continuación se muestra:

- * Facilidad de integración.
- * Amplio rango de uso, se puede usar el producto de diversos proveedores.
- * Mínimos requerimientos de asistencia técnica.
- * Procesamiento y equipo relativamente simple.
- * Mercados dispersos y clientela atomizada o disgregada en un rango grande de comercialización.
- * Altos volúmenes de producción y venta.
- * Precios bajos y márgenes bajos de utilidad.
- * Precio de acuerdo a costos.
- * Competencia del producto transformado por precio

Los materiales que se encuentran incluidos dentro del grupo de los comodities son:

- Polietilenos.

- Cloruro de Polivinilo.
- Poliestirenos.
- Polipropileno.

2.5.2.2 Versátiles.

Grupo de polímeros representado por un consumo medio en donde las características varían básicamente por el mercado de aplicación.

- * Competencia en base a la facilidad de procesamiento.
- * Poca tecnología en producción y transformación.
- * La clave de su desarrollo se basa en el diseño y creatividad.
- * Se acude a mercados bien definidos.
- * Su desarrollo técnico se encuentra estancado.

Dentro de este grupo se incluyen:

- Poliuretanos.
- Melamina.
- Resina poliéster.
- Acrílicos.
- Resina fenólica.
- Resina epoxi.
- Silicones.

2.5.2.3 Especialidades.

A este grupo de polímeros se les ha llamado de "especialidades" precisamente por su campo de aplicación y consumo, ya que sólo son usados en casos específicos llegando a grados extremadamente especializados. Todos ellos tienen en común:

- * Precios altos con márgenes de utilidad altos.
- * Procesamiento y equipo más especializado.
- * Venta en base a las propiedades de la resina.
- * Bajos volúmenes de producción y venta.
- * Gran diversidad de formulaciones y grados.

* Presentan amplio futuro en el mercado especial.

* Su venta se encuentra acompañada del servicio técnico.

Dentro del grupo de las especialidades aparecen los siguientes polímeros:

- Poliamidas.
- Acetales.
- Acrilonitrilo-butadieno-estireno. ABS.
- Policarbonatos.
- Polibutilen-tereftalato. PET.
- Polietilen-tereftalato. PET.
- Polióxido de fenileno.
- Politetra-fluoro-etileno.

Cabe mencionar que todos estos materiales también se pueden agrupar de acuerdo a la familia que pertenecen la cuál se encuentra caracterizada por poseer un grupo funcional específico en su estructura. Dicho grupo funcional pertenece a la unidad que se repetirá en forma consecutiva a lo largo de toda la cadena del polímero y la que dará las propiedades clave del material.

2.6 METODOS DE TRANSFORMACION.

Una vez que el polímero se ha obtenido por medio de la polimerización y que a éste se le ha mezclado con otros aditivos para que adquieran algunas propiedades deseables, están listos para ser procesados, es decir, que mediante la aplicación de calor y presión pueden moldearse para tomar una figura determinada. Gracias a la facilidad de transformación de todos estos materiales se logran obtener puntos ventajosos como: Alta producción de piezas con un mínimo de desperdicio, maquinaria de fácil operación y de dimensiones reducidas con respecto a otros materiales como la madera, vidrio o metal, empleo de poco personal debido a que una vez fijadas las condiciones de operación en la maquinaria el material no presenta mayores problemas; y por lo tanto se obtienen bajos costos de manufactura lo cuál hacen que el producto final presente un precio competitivo dentro del mercado. Dentro de los principales procesos

de transformación de plásticos en México encontramos:

- * Extrusión.
- * Inyección.
- * Soplado.
- * Compresión.
- * Termoformado.
- * Calandreado.
- * Rotomoldeo.
- * Inmersión.
- * Embarrado.
- * Inyección con reacción (RIM).
- * Inyección-soplo. Biorientado.
- * Aspersado y/o embarrado.

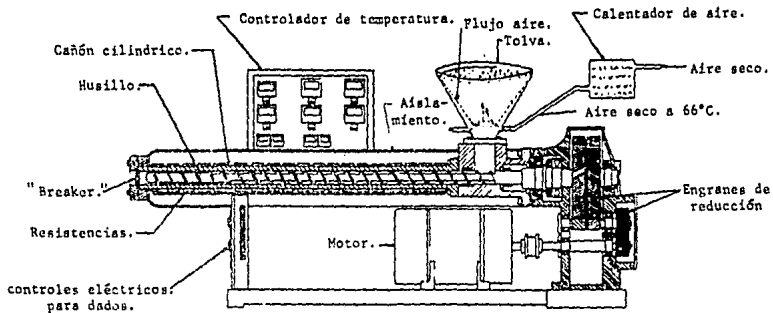
Dentro de los procesos más importantes de transformación para los plásticos existentes del grupo anteriormente listado encontramos:

- * Moldeo por extrusión.
- * Moldeo por inyección.
- * Moldeo por soplado.
- * Moldeo por termoformado.
- * Moldeo rotacional.

2.6.1 Moldeo por extrusión.

Es un proceso continuo en el cual se obtienen productos finales con una configuración o forma definida, compactando y forzando el paso de un material determinado fundido a través de un dado. La mayor parte de los termoplásticos pueden ser transformados y trabajados en máquinas extrusionadoras. La elección del tipo más apropiado dependerá del sector de aplicación de los moldados y de las consiguientes características exigidas. Para la transformación por extrusión es necesario suministrar materiales pobres en grumos y por lo general completamente secos o en su defecto que contengan el grado mínimo de humedad. Dentro del esquema mostrado se representa una máquina extrusora típica con todos y cada uno de los elementos necesarios para llevar a cabo el proceso descrito.

MOLDEO POR EXTRUSION.



2.6.2 Moldeo por inyección.

El moldeo por inyección consiste en fundir el material dentro de un cilindro caliente, inyectado a alta presión dentro de un molde y después de un período de enfriamiento se separa el molde y la pieza queda terminada.

Por lo general el proceso de fundición del granulado es motivado por calefacción exterior mediante bandas calentadoras a lo largo del cilindro y por calor de fricción. La relación entre la calefacción exterior y calor de fricción depende del tipo de masa de moldeo, del caudal del material (tiempo de permanencia), de la longitud del husillo y de su geometría.

Dentro de las características principales dentro del proceso de inyección de plásticos podemos mencionar: máxima exactitud de forma y dimensiones de las piezas obtenidas, posibilidad de formación de orificios, refuerzos ajustes y marcas dentro de las mismas piezas, superficies lisas y limpias de productos ajenos al material, rápida producción del material empleado y un gran espacio de fabricación.

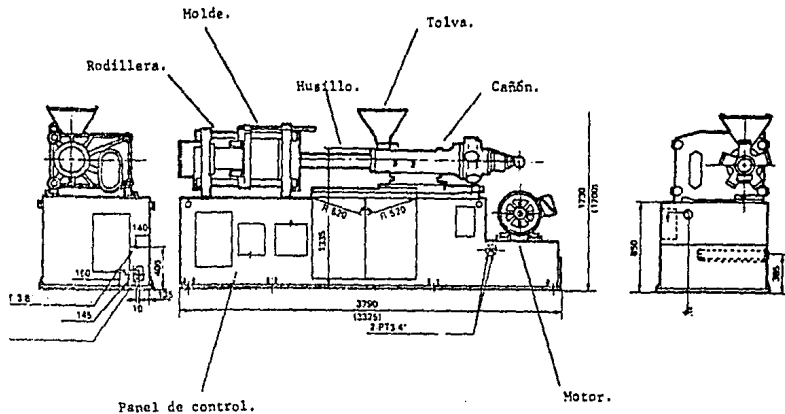
Cuando se manejan pasos grandes de material, es decir, cuando el tiempo de permanencia de la masa dentro del cilindro es más breve, la energía necesaria para la fusión del plástico debe ser aportada en mayor medida por el calor de fricción. Sin embargo, esto sólo es factible y posible si el husillo tiene una longitud suficiente y presenta la geometría apropiada para el material usado.

Dentro del proceso de inyección, debido a su complejidad y en ocasiones dificultad de manejo para aquellas personas que nunca han tenido contacto con una máquina de inyección, es necesario mencionar que dentro del desarrollo de la operación es necesario controlar una serie de variables para obtener productos de calidad:

- * Presión de inyección.
- * Temperatura en el cilindro o cañón.
- * Temperatura en la boquilla de inyección.
- * Velocidad de inyección.
- * Tiempo de inyección.
- * Temperatura del molde.

En el siguiente esquema se muestra una máquina de inyección típica con sus respectivas partes que la constituyen.

MOLDEO POR INYECCION.



VISTA FRONTAL.

VISTA LATERAL (MAQUINARIA).

VISTA POSTERIOR.

2.6.3 Moldeo por soplado.

Proceso de transformación que se encuentra dividido en tres grandes ramas: Producción de hojas sopladas en tubo o manga, producción de botellas y cuerpos huecos mediante la inyección de preformas y finalmente la producción de botellas y cuerpos huecos mediante la obtención de un parison proporcionado por el método de extrusión del material.

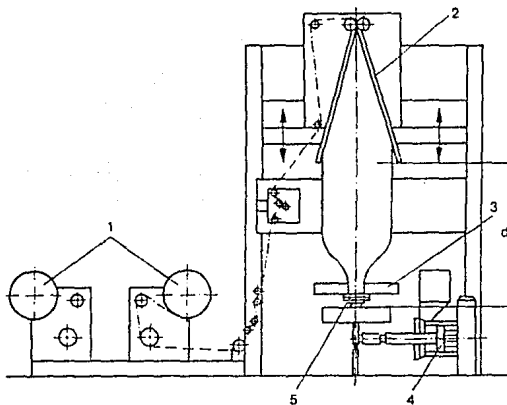
En el primer caso, para obtener hojas por soplado en tubo o manga - la transformación se lleva a cabo en las usuales plantas de soplado de tubulares (en tubo), de manera vertical y con un sistema de aplanado ajustable en altura, donde se pueden utilizar cabezales con pinola o cabezales donde la corriente de masa incide en forma central sobre el mandril, (figura 1).

En el segundo caso, la inyección de las preformas involucra un proceso más complicado donde la preforma es inyectada gracias al material fundido, sigue un enfriamiento rápido para que posteriormente la preforma ya fría sea ablandada mediante el calentamiento de una resistencia eléctrica para ser estirada alrededor de dos veces de su longitud original y así poder realizar el soplado de aire comprimido aumentando con esto cuatro veces el tamaño original de la preforma dentro de un molde el cual contiene la forma y el tamaño requeridos, finalmente la pieza se separa y analiza. Este proceso también es llamado soplado biorientacional, (figura 2).

En el caso final, la producción de botellas gracias a los parisons obtenidos mediante el proceso de extrusión, es un desarrollo similar al anterior; el parison extruído similar a un tubo vertical, entra a un molde con inyección de aire comprimido para formar el recipiente solicitado, este proceso en contraposición con el anterior es continuo. La capacidad de producción de los dos procesos mencionados va desde botellas de diez mililitros hasta bidones de diez litros o más, (figura 3).

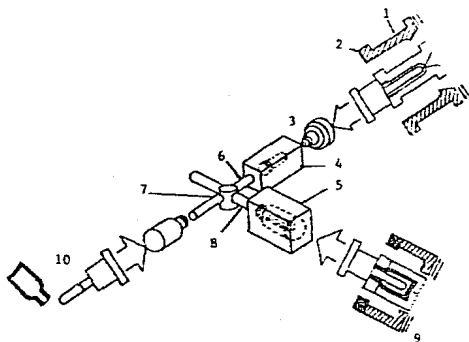
Los diagramas presentados muestran de manera general cada uno de los tres métodos de moldeo por soplado mencionados.

SOPLADO EN TUBO O MANGA.
(figura 1)



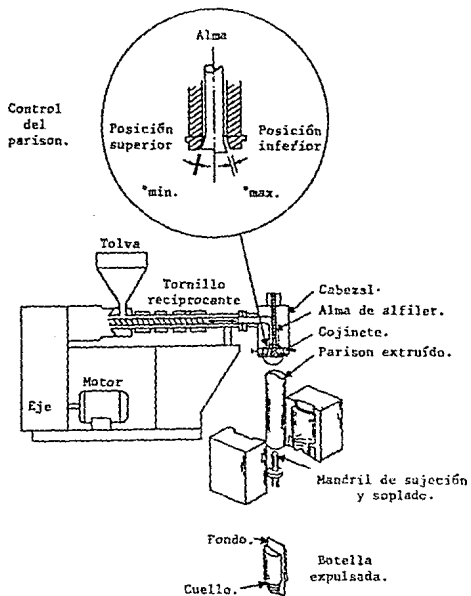
- 1.- Bobinadores.
- 2.- Sistema aplanador.
- 3.- Anillo refrigerador.
- 4.- "Extruder."
- 5.- Cabezal de soplado.

INYECCION DE PREFORMAS.
(figura 2)



- 1.- Sección del molde de inyección.
- 2.- Cuello roscado.
- 3.- Unidad de inyección.
- 4.- Sujeción del molde de inyección.
- 5.- Soplado de la preforma.
- 6.- Mandril.
- 7.- Eje de rotación.
- 8.- Conexión de aire a través del mandril.
- 9.- Sección inferior del molde de soplado.
- 10.- Expulsión de la pieza.

EXTRUSION DE PARISONS.
(figura 3)



2.6.4 Moldeo por termoformado.

Proceso que por medio de un sistema de vacío-extracción de aire con tenido dentro de un molde, que en ocasiones se encuentra ayudado por la presión ejercida por un pistón, provoca que una lámina tome la forma del molde.

Este proceso comprende una serie de etapas y equipos básicos para su realización:

- * Equipo de calentamiento.
 - Hornos con circulación de aire.
 - Calentamiento infrarrojo.
- * Equipo mecánico.
 - Formado libre a vacío o presión.
 - Formado a presión.
 - Formado a vacío con ayuda de pistón.
 - Formado a presión o vacío con retorno.

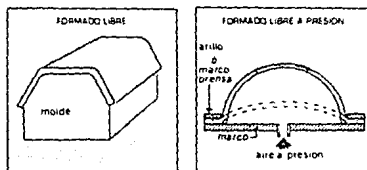
Este proceso se encuentra generalizado a los termoplásticos laminados con el fin de poder obtener un número amplio de productos:

Poliestireno	Vasos.
Cloruro de Polivinilo	Blister Pack.
Poliétileno	Juguetes.
Acrílicos	Artículos de decoración.
ABS	Gabinetes de radios y TV.

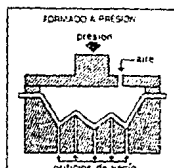
Cabe mencionar que este proceso es uno de los más fáciles de poder realizar, ya que se intenta aprovechar la propiedad inherente en los materiales de buena formabilidad cuando estos se calientan volviéndose flexibles y maleables de manera similar a las láminas de hule.

En los siguientes esquemas se muestra de manera ejemplificada las variantes manejadas dentro del equipo mecánico de termoformado.

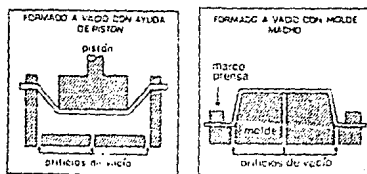
MOLDEO POR TERMOFORMADO.



Formado libre a vacío o presión.

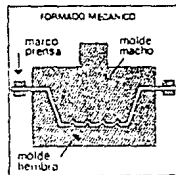
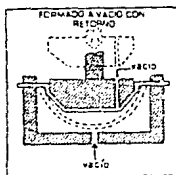
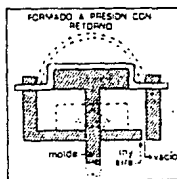


Formado a presión.



Formado a vacío con ayuda de pistón.

MOLDEO POR TERMOFORMADO.



Formado a presión o vacío con retorno.

2.6.5 Moldeo rotacional.

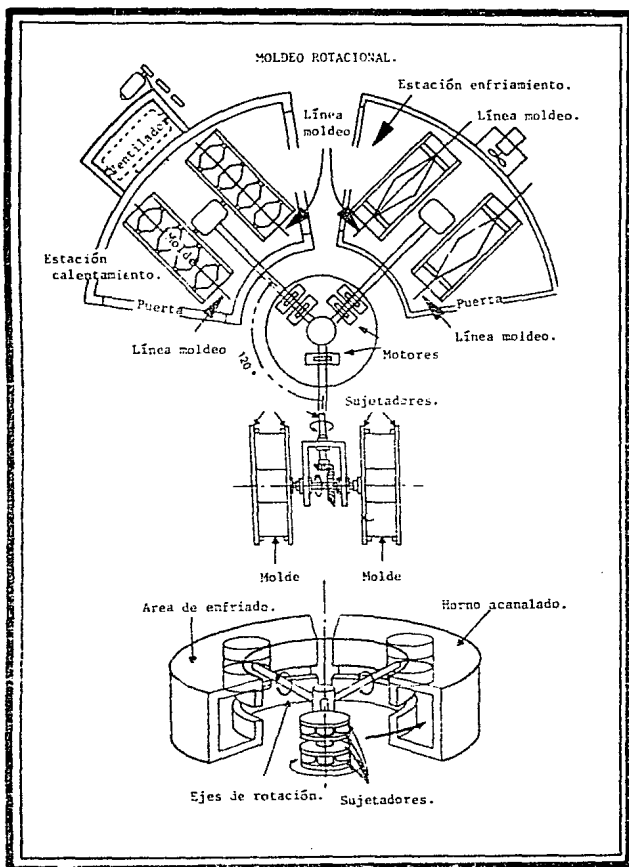
El moldeo rotacional es un proceso utilizado particularmente en la producción de artículos huecos a partir de materiales termoplásticos y en mucho menor proporción algunos termofijos.

Por lo general, el compuesto utilizado es una formulación especial llamada plastisol, que se introduce dentro de un molde especial preparado para el moldeo rotacional. Una vez llenado con la formulación, el molde se cierra y mediante un calentamiento y enfriamiento, este se pone en giro mediante dos brazos axiales, localizados en ángulos perpendiculares entre sí.

Durante la etapa de calentamiento, la formulación se funde parcialmente formando una película porosa dentro del área interior del molde, mientras esto sucede, el movimiento continuo del moldeo logra que ésta película se uniformice provocando un espesor promedio y sin ninguna parte fuera del promedio formado dentro del molde. Una vez que el tiempo de residencia dentro del horno ha terminado, el molde sin omitir su movimiento se transfiere a la etapa de enfriamiento, este enfriamiento se lleva a cabo mediante el uso de ventiladores o agua de enfriamiento esprenda sobre el molde; en ocasiones se manejan combinaciones de los dos sistemas para una mejor uniformidad en el enfriamiento de la masa contenida dentro del molde. Cuando el molde se encuentra completamente frío, este se transporta al área de trabajo donde es abierto.

En el área de trabajo, se extraen las piezas conformadas dentro del molde, se chequean, se revisan en todas y cada una de sus partes para comprobar la uniformidad de la pieza y que esta no muestre imperfecciones. Por otro lado, mientras la pieza se chequea, el molde es regresado a la etapa inicial de la operación para continuar con la producción de las piezas.

En el diagrama podemos apreciar claramente todas y cada una de las partes conformativas del proceso completo, además de ejemplificar de manera general la forma de uso en cuanto a la maquinaria se refiere.



2.7 APLICACIONES Y PRODUCTOS COMERCIALES.

De acuerdo a la gran gama de productos mencionados a lo largo de este tema y a su clasificación, las aplicaciones se encuentran aplicadas básicamente de acuerdo a los termofijos y termoplásticos. En la siguiente tabla se pueden ver las aplicaciones específicas de cada uno de los polímeros constituyentes y formadores de los dos grandes grupos de plásticos: Termoplásticos y termofijos.

<u>NOMBRE QUIMICO.</u>	<u>TERMOPLASTICOS.</u>	<u>APLICACION.</u>
POLIOLEFINAS:		
- Polietileno (PE)		- Películas. - Artículos para el hogar. - Empaque y envase. - Recubrimientos.
- Polipropileno (PP)		- Películas. - Raffia. - Fibras textiles.
POLIMEROS DE ESTIRENO:		
- Poliestireno (PS)		-Empaque y envase. - Juguetes. - Artículos para el hogar. - Industria mueblera.
- Acrilonitrilo-butadieno-estireno. (ABS)		- Piezas automotrices cromadas.
- Estireno-acrilonitrilo (SAN)		- Carcazas de electrodomesticos.
POLIMEROS HALOGENADOS:		
- Cloruro de Polivinilo (PVC)		- Tubería. - Botellas. - Película flexible y rígida. - Losetas.

- Cloruro de Polivinideno (PVDC)
- Politetrafluoro-etileno (PTFE)
- Fluoruro de polivideno (PVF)
- Películas para empaque.
- Teflón.
- Diafragmas.

POLIACRILATOS:

- Polimetil-metacrilato (PMMA)
- Anuncios luminosos.
- Tinas para baño.
- Cancelería.

POLIOXIDOS:

- Polioxido de fenileno (PPO)
- Polioxido de metileno (POM)
- Carcazas para computadoras.
- Maquinaria industrial.
- Mecanismos automotrices.

POLIESTERES:

- Policarbonato (PC)
- Polibutilen-tereftalato (PBT)
- Polietileno-tereftalato (PET)
- Cascos de seguridad.
- Farabrisas de motocicletas.
- Anuncios luminosos.
- Carcazas de aparatos electricos.
- Partes automotrices.
- Botellas.
- Películas.

POLIAMIDAS:

- Nylon 6 (PA-6)
- Nylon 6/6 (PA-6/6)
- Nylon 6/10 (PA-6/10)
- Nylon 11 (PA-11)
- Nylon 12 (PA-12)
- Engranés.
- Suelas para zapatos.
- Engranés.
- Tanques para gasolina.
- Aislamiento de cables.

POLISULFONAS:

- Poliester sulfona (PES)
- Polifenilén sulfona (PPS)
- Carcazas de bombas.
- Conectores eléctricos.

TERMOPLASTICOS.

FENOPLASTICOS:

- Resina fenólica (PF)
- Cresol formaldehído (CF)
- Accesorios eléctricos.
- Accesorios eléctricos.

AMINOPLASTICOS:

- Urea formaldehído (UF)
- Melamina formaldehído (MF)
- Poliester insaturado (UP)
- Resina epoxi (EP)
- Poliuretanos (PUR)
- Partes eléctricas.
- Vajillas,
- Madera aglomerada.
- Lanchas.
- Encapsulados.
- Recubrimientos anticorrosivos.
- Colchones.
- Asientos de automoviles.

2.8 METODOS DE IDENTIFICACION EN PLASTICOS.

Al analizar el comportamiento de una muestra de plástico, observando sus propiedades físicas como transparencia, flexibilidad, densidad y solubilidad, es posible obtener información valiosa que nos oriente hacia su identificación agregando a todos los datos anteriores el comportamiento a la flama y la detección de su combustibilidad, la duración y el color de la flama, la alteración de la muestra, el color de los humos y el color de los vapores desprendidos, se logran deducir conclusiones importantes que definen el tipo de plástico a identificar.

Existen dos grandes grupos de métodos para la identificación de los plásticos; el primero de ellos el cuál integra un método empírico, el cuál debidamente organizado constituye una valiosa herramienta para la identificación del material, mientras que el segundo grupo lo integran una serie de pruebas específicas y determinadas que posteriormente se ejemplificaran.

Dentro del primer grupo podemos encontrar tres tipos de pruebas:

- * APARIENCIA FISICA.
- * DENSIDAD.
- * COMPORTAMIENTO A LA FLAMA.

2.8.1 Apariencia Física.

Las pruebas de apariencia física son las primeras que se deben de llevar a cabo para la identificación de una muestra de plástico. Este tipo de pruebas se realiza desde el momento en que se tiene la muestra en nuestras manos. Las propiedades que se determinan en esta etapa son: Propiedades Mecánicas y Propiedades Ópticas.

2.8.1.1 Propiedades Mecánicas.

Las propiedades mecánicas consisten en determinar el grado de resistencia que presenta la muestra al doblarse. De acuerdo al comportamiento que la muestra presenta se clasifican en tres grupos:

- * Plásticos Rígidos.
- * Plásticos Semi-rígidos.
- * Plásticos Flexibles.

2.8.1.2 Propiedades Ópticas.

Las propiedades ópticas determinan el grado de luz que puede - dejar pasar un cuerpo a través de él. Existen instrumentos especiales para la medición de este tipo de propiedades, pero dentro de los métodos empíricos - estas propiedades se determinan por el ojo humano. De acuerdo con lo anterior podemos encontrar la siguiente clasificación:

- * Plásticos Transparentes.
- * Plásticos Translúcidos.
- * Plásticos Opacos.

2.8.2 Densidad.

La densidad de un cuerpo es la relación que existe entre su peso y el volumen que ocupa. Generalmente se expresa en g/cm^3 .

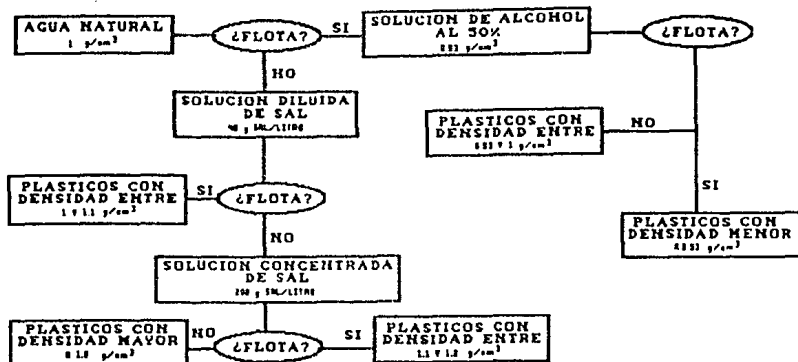
Para el caso de los plásticos es conveniente distinguir entre la - densidad propiamente dicha y la densidad aparente. La primera se encuentra basada en el volumen del material sólido, homogéneo y compacto; mientras que la segunda se basa en el volumen de un compuesto en forma de polvo, gránulos o pellets a granel y es de gran importancia para conocer el volumen que ocupa - un material en el momento de su almacenamiento.

Debido a la gran cantidad de plásticos existentes en la actualidad éstos presentan diferentes rangos de densidad entre sí, por lo cual es posible formar cinco grandes grupos, los cuales proporcionan la información necesaria para la identificación de plásticos y además para la separación de mezclas.

- * Plásticos que flotan en el agua.
- * Plásticos que flotan en solución alcohólica.
- * Plásticos que flotan en solución diluida de sal.
- * Plásticos que flotan en solución concentrada de sal.
- * Plásticos que no flotan.

La ruta a seguir para la identificación y clasificación de los plásticos gracias a su densidad se muestra en el diagrama explicativo donde se puede apreciar de manera clara y concisa la metodología a utilizar.

IDENTIFICACION DE PLASTICOS POR DENSIDAD.



2.8.3 Comportamiento a la flama.

Los plásticos son compuestos orgánicos de carbono e hidrógeno y algunas veces también contienen dentro de su estructura oxígeno y/o nitrógeno además de algunos halógenos como es el caso del cloro. Gracias a esto todos los polímeros son en menor o mayor medida fácilmente combustibles.

La combustión es un proceso químico el cuál se presenta cuando un material por medio de la acción calorífica reacciona con el oxígeno del aire para producir bióxido de carbono, agua y energía.

La combustión de los plásticos se inicia con el calentamiento del plástico arriba del punto de descomposición a través de una flama. Además del bióxido de carbono y agua producidos en la combustión se forman gases combustibles como hidrocarburos, hidrógeno y monóxido de carbono.

La composición de los diferentes plásticos, su estructura, densidad y geometría del producto terminado son factores importantes dentro de la flammabilidad del plástico, además de que la propagación de la flama se encuentra en función de la cantidad de oxígeno presente y del tipo de vapores deprendidos.

Por estas razones, cada plástico se comporta de manera diferente y particular cuando es sometido a la flama. lo cuál proporciona información importante acerca del tipo de plástico a identificar.

Dentro de los ensayos manejados podemos encontrar seis pruebas diferentes definidas por el comportamiento de combustión de cada plástico.

2.8.3.1 Combustibilidad.

Prueba utilizada para clasificar a los plásticos de acuerdo a la facilidad o dificultad que estos presentan para incendiarse cuando son sometidos a una flama con una altura de aproximadamente 2.5 cm. Dentro de esta etapa logramos diferenciar dos grupos de polímeros:

- * Plásticos fáciles de incendiar.
- * Plásticos difíciles de incendiar.

2.8.3.2 Duración de flama.

Dentro de este ensayo el plástico manejado se somete nuevamente al calor de la flama, ya que pueden tener la característica de poder propa

gar la flama o no, de tal manera que se formen dos grupos:

- * Plásticos que continúan ardiendo.
- * Plásticos autoextinguibles.

2.8.3.3 Color de la flama.

Como su nombre lo indica, la prueba consiste en observar el color que la flama presenta en la muestra cuando esta se ha incendiado. La observación del color de la flama puede realizarse durante la prueba anterior. En términos generales, los plásticos se pueden clasificar de acuerdo a su color de flama en dos grupos:

- * Plásticos de flama amarilla.
- * Plásticos de flama azul.

2.8.3.4 Alteración de la muestra.

Los plásticos, como ya se mencionó, se clasifican en dos grupos de acuerdo a su comportamiento al calor:

- * Termoplásticos.
- * Termofijos.

Los plásticos que se ablandan por la acción del calor hasta - llegar a fundirse son los termoplásticos que al enfriarse vuelven a solidificarse. Este proceso puede repetirse varias veces siempre y cuando el calor no sea excesivo y pueda provocar la degradación total de las moléculas.

Por el contrario, los plásticos termofijos se moldean a partir de sistemas de dos componentes y por la acción del calor forman estructuras altamente consistentes las cuales una vez enfriadas no es posible fundirlas - por calor. Si se aplica calor en exceso a este tipo de estructuras los materiales se carbonizan.

De acuerdo a este comportamiento de los plásticos se han encontrado tres grandes grupos:

- * Plásticos que funden.
- * Plásticos que funden y gotean.
- * Plásticos que carbonizan.

2.8.3.5 Color de los humos,

El tipo y color de los humos que se logran desprender durante la combustión de los plásticos nos proporcionan información que también puede ayudar a la identificación de los mismos. Este tipo de prueba se puede realizar simultáneamente al hacer la prueba anterior, donde de acuerdo a la composición del polímero, los humos pueden formar dos grupos de identificación:

- * Plásticos con humos blancos.
- * Plásticos con humos negros.

2.8.3.6 Olor de los vapores.

Como prueba final dentro del comportamiento a la flama es necesario definir el olor característico del plástico una vez que la muestra mangada se ha apagado. La mayoría de las veces esta prueba es la que se encarga de definir exactamente la muestra a identificar.

Dentro de su proceso de trabajo, es necesario dejar disipar la mayor parte del humo una vez que la muestra se ha apagado, evitando con esto que los olores causen alguna picazón u otra incomodidad, ya que algunos olores pueden ser desagradables y en algunos casos cuando la concentración es muy alta hasta tóxicos.

A manera de sintetizar lo mostrado dentro de las pruebas empíricas se muestra una tabla esquemática de identificación de los polímeros más importantes con sus respectivos análisis y comportamientos de acuerdo a cada una de las pruebas aquí mencionadas.

Público	Mecánicas	Ópticas	Densidad
Acetal	Semir rígido	Translucido	No Flotan
Estano Acetato de Vinilo	Flexible	Translucido	Flotan en Agua*
Acetato	Rígido	Transparente	Flotan en Solución Concentrada de Sal Densidad de Sal
Acetileno Poliacetato Estano	Semir Rígido	Opaco	Flotan en Solución Densidad de Sal
Acetileno Poliacetato Estano Transparente	Semir Rígido	Transparente	Flotan en Solución Densidad de Sal
Cloruro de Polivinilo Flexible	Flexible	Transparente	Flotan en Solución Concentrada de Sal
Cloruro de Polivinilo Rígido	Semir Rígido	Transparente	No Flotan
Estano Acrílico	Rígido	Transparente	Flotan en Solución Densidad de Sal
Estano Butadieno	Flexible	Transparente	Flotan en Solución Densidad de Sal
Hule Termoplástico Olefínico	Flexible	Opaco	Flotan en Agua
Metileno	Rígido	Opaco	No Flotan
Nylon 6	Semir Rígido	Translucido	Flotan en Solución Concentrada de Sal
Nylon 66	Semir Rígido	Translucido	Flotan en Solución Concentrada de Sal
Polietileno Tereftalato	Semir Rígido	Opaco	No Flotan
Poliacetalato	Semir Rígido	Transparente	Flotan en Solución Concentrada de Sal
Poliacetato Cristal	Rígido	Transparente	Flotan en Solución Densidad de Sal
Poliacetato Medio Rígido	Semir Rígido	Translucido	Flotan en Solución Densidad de Sal
Poliacetato Alto Rígido	Semir Rígido	Opaco	Flotan en Solución Densidad de Sal
Poliacetato Expansible	Rígido	Opaco	Flotan en Agua
Poliacetato Alta Densidad	Semir Rígido	Translucido	Flotan en Agua*
Poliacetato Baja Densidad	Flexible	Translucido	Flotan en Agua
Poliacetato No Piro Molecular	Semir Rígido	Translucido	Flotan en Agua
Poliisopreno	Semir Rígido	Translucido	Flotan en Agua
Poliuretano Espuma Flexible	Flexible	Opaco	Flotan en Agua
Poliuretano Espuma Rígida	Rígido	Opaco	Flotan en Agua
Poliuretano Termoplástico	Flexible	Translucido	No Flotan
Resina Epoxi	Rígido	Transparente	No Flotan
Resina Fenólica	Rígido	Opaco	No Flotan
Resina Policloroacrilato	Rígido	Transparente	No Flotan
Resina Policloroacrilato de Vinilo	Semir Rígido	Translucido	No Flotan
Silicon	Flexible	Opaco y Transparente	No Flotan

Combustibilidad	Duración de la Flama	Alteración de la Muestra	Color de la Flama
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde y Gotea	Azul Claro
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde y Gotea	Azul
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde y Gotea	Amarillo Brillante
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde	Amarillo Brillante
Fácil de Incendiar	Auto - Estinguen	Funde	Amarillo con Bordes Verdes
Fácil de Incendiar	Auto - Estinguen	Funde	Amarillo con Bordes Verdes
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde	Amarillo
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde	Amarillo
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde y Gotea	Amarillo Rojo
Difícil de Incendiar	Auto - Estinguen	Carboniza	Amarillo
Difícil de Incendiar	Auto - Estinguen	Funde y Gotea	Azul con Bordes Amarillos
Difícil de Incendiar	Auto - Estinguen	Funde y Gotea	Azul con Bordes Amarillos
Difícil de Incendiar	Auto - Estinguen	Funde y Gotea	Amarillo Rojo
Difícil de Incendiar	Auto - Estinguen	Funde	Amarillo Brillante
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde	Amarillo Brillante
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde	Amarillo Brillante
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde	Amarillo Brillante
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde y Gotea	Amarillo Brillante
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde y Gotea	Azul con Puntos Amarillos
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde y Gotea	Azul con Puntos Amarillos
Difícil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde y Gotea	Azul con Puntos Amarillos
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde y Gotea	Azul con Puntos Amarillos
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Carboniza y Gotea	Amarillo Brillante
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Carboniza	Amarillo Rojo
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Funde y Gotea	Amarillo Rojo
Fácil de Incendiar	Auto - Estinguen	Carboniza	Amarillo
Difícil de Incendiar	Auto - Estinguen	Carboniza	Amarillo
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Carboniza	Amarillo Brillante
Fácil de Incendiar	Continua Ardendo	Carboniza	Amarillo Brillante
Difícil de Incendiar	Auto - Estinguen	Polvo Blanco	Amarillo

Color de los Humos	PH de los Vapores	Olor de la Muestra
Blanco	Neutro	Picante del Formoldeado
Blanco	Acido	Vinagre
Blanca	Neutro	Solvente
Negro	Neutro	Humo de Llama
Negro	Neutro	Humo de Llama
Negro	Acido	Picante del Acido Clorhídrico
Negro	Acido	Picante del Acido Clorhídrico
Neutro	Alcalino	Humo de Llama Ligamente Picante
Negro	Neutro	Humo de Llama
Negro	Neutro	Humo de Llama
Blanco	Alcalino	Pescado
Blanco	Alcalino	Cabello Quemado
Blanco	Alcalino	Cabello Quemado
Negro	Acido	Irresaca
Negro	Neutro	Irresaca
Negro	Neutro	Humo de Autos Ligamente Dulce
Negro	Neutro	Humo de Autos Ligamente Dulce
Negro	Neutro	Humo de Autos con Humo
Negro	Neutro	Humo de Autos Ligamente Dulce
Blanco	Neutro	Parafina
Blanco	Neutro	Parafina
Blanco	Neutro	Parafina
Blanco	Neutro	Parafina y Aceite Quemado
Blanco	Acido	Irresaca
Blanco	Acido	Desagradable
Negro	Alcalino	Irresaca
Blanco	Acido	Desagradable
Negro	Alcalino	Picante a Fandol
Negro	Neutro	Irresaca
Negro	Neutro	Madera Verde
Negro	Neutro	Humo de Autos Irresaca
Negro	Neutro	Humo de Autos Irresaca
Blanco	Neutro	Solvente muy Ligero

Dentro del segundo grupo mencionado, el de las pruebas específicas, se encuentra avocado a campos donde se busca desarrollar algún nuevo producto y es necesario identificar correctamente el material a manejar abarcando tanto sus propiedades como su composición. Es por esta razón primordial que se recurre a una serie de métodos de análisis más profundos y exactos que el empírico, los cuales se clasifican según la propiedad que se observa en el proceso de medición final. Así se logra tener los métodos químicos y los métodos instrumentales.

Los métodos químicos se fundamentan en mediciones gravimétricas y volumétricas lo cual proporcionan información cualitativa y cuantitativa referente a la presencia o ausencia de cada uno de los componentes de la muestra.

En el caso de los métodos instrumentales, en los últimos años, la química experimental ha logrado importantes avances en el campo de los análisis de identificación de materiales, lo cual facilita en gran medida los análisis a realizar proporcionando datos de alta confiabilidad en un mínimo de tiempo.

Pocas características distinguen claramente los métodos instrumentales de los químicos. Algunas técnicas instrumentales son más sensibles y por lo tanto más exactas que las técnicas clásicas, pero otras no lo son. Con ciertas combinaciones de elementos o compuestos un método instrumental puede ser más específico; con otras, un procedimiento gravimétrico o volumétrico está menos sujeto a interferencia. Por esta razón, podemos afirmar que ambos métodos son complementarios entre sí, e inclusive con el método empírico.

En el caso de los métodos químicos podemos encontrar pruebas que van desde el comportamiento al calor, solubilidad de la muestra hasta la aplicación de ensayos específicos dependiendo del tipo de plástico a manejar.

Mientras que en el caso de los métodos instrumentales el uso de equipos con una mayor sensibilidad nos ayudan a abarcar pruebas de carácter espectroscópico que varían desde el infrarrojo hasta la espectroscopía de masas; pruebas térmicas, pruebas cromatográficas que pueden ir desde la cromatografía de gases hasta la cromatografía en capa fina.

El balance de todas y cada una de las respuestas obtenidas en el análisis de la muestra nos proporcionará exactamente el tipo y características del plástico manejado.

2.9 ANÁLISIS COMERCIAL.

El nacimiento y desarrollo de la industria química ha sido de gran importancia para la humanidad. Este tipo de industria ha producido hasta la fecha, gran cantidad de materiales y materias primas para otras ramas de la economía donde los materiales poliméricos juegan un papel extraordinariamente increíble, por su rápida productividad en forma de macromoléculas sintéticas, que cada vez se usan con más versatilidad en nuestra vida cotidiana.

De hecho el modo de vida de la humanidad se encuentra íntimamente ligado a la manipulación y transformación constantes de los materiales que le han rodeado. Desde sus etapas más primitivas, la humanidad ha empleado su capacidad de sustituir materiales malos o ya agotados, o de difícil elaboración, como para mejorar sus propiedades ya existentes y para reducir los efectos nocivos de los usos de algunos otros. Dichos materiales, entre ellos los polímeros, han producido importantes beneficios, los cuales han satisfecho su abrigo, su comida, su salud y además, le han brindado un cúmulo de comodidades.

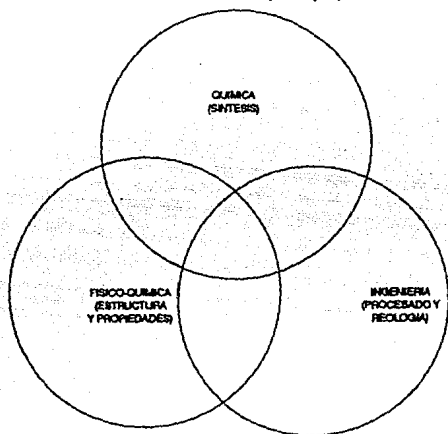
La producción actual de polímeros, entre ellos también los plásticos, no está distribuida de igual manera entre todos los países. En el mundo hay más de 180 países y solo pocos producen el 90% de la producción que se consume, - por ejemplo: Estados Unidos produce 34.5%, Alemania 14.6%, Japón 13.6%, URSS 7.2%, Francia 6.2%, Italia 5.8%, Inglaterra 5.7%, España 2.3%, Canadá 1.8% y el resto del mundo 8.3%.

Sin embargo, a pesar de las bondades de los polímeros, han causado un impacto en el medio ambiente, debido a su acumulación en basureros, que depende del tiempo que duren estos materiales de desecho sin descomposición.

Por tales motivos, es de gran importancia su conocimiento acerca de su historia, su producción y su aplicación, que es realmente lo que se pretende actualizar hoy en día.

El gran desarrollo de la industria ha permitido que una diversidad de científicos, ingenieros y técnicos de diferentes disciplinas participen en la investigación, obtención, desarrollo y aplicación de los polímeros. En este sentido participan: desde el químico encargado de modular la estructura del material deseado al físico que descifra los intrincados misterios de su comportamiento, el ingeniero que diseña los procesos industriales que permitan obtenerlo en gran escala y, por último, el técnico encargado del diseño del equipo de procesamiento que lo convierta en artículo que satisfaga necesidades concretas.

Como consecuencia de lo anterior, el estudio de los polímeros es hoy en día muy importante, de tal manera que surgen cada vez nuevos centros de investigación básica y aplicada de los polímeros en industrias y universidades, - tanto públicas como privadas, donde básicamente el campo de los polímeros se desarrolla en tres áreas, de acuerdo al esquema propuesto a continuación.



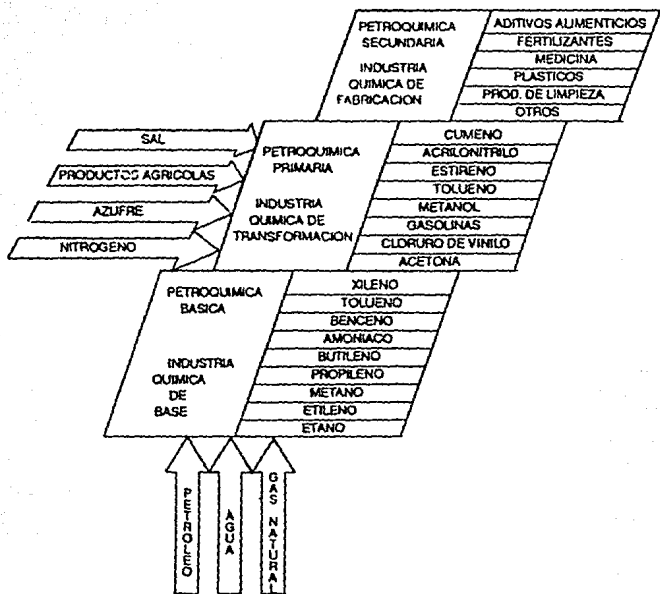
En la síntesis de polímeros se estudian los mecanismos y la cinética de polimerización iónica, radicales libres y coordinación.

En el análisis de la estructura y propiedades se determina el peso molecular y su distribución, la estructura del polímero y su relación con sus propiedades físicas y térmicas.

En la ingeniería de polímeros se estudian las propiedades de flujo (reología) de estos sistemas viscoelásticos para ser procesados, además del diseño de los procesos y de la maquinaria de proceso.

En México, la industria química se desarrolla formalmente a partir de 1950, la cual se debió al desarrollo del sector petroquímico nacional que ha utilizado los petroquímicos básicos para la producción de materiales sintéti-

cos, como son: el polietileno, el poliestireno, el cloruro de polivinilo. En el año de 1965 se empieza a integrar a la industria el gran campo de los elastómeros.



De acuerdo al esquema mostrado anteriormente podemos observar la organización de la petroquímica con sus bases y sus divisiones principales: la industria química de base, de transformación y de fabricación. De dicha industria petroquímica se producen los materiales sintéticos, es decir, los plásticos, principalmente, productos de limpieza, etc.

Pocos sectores de la industria requieren de una integración tan vertical como la de los polímeros.

En primer lugar, Petroleos Mexicanos elabora las materias primas (monómeros); luego aproximadamente un centenar de industrias producen los polímeros por vías químicas, para que finalmente las industrias procesadoras (aproximadamente unas 2000) los transformen en artículos manufacturados. Este amplio sector de industrias de los polímeros es el que tradicionalmente ocupa una fuerza de trabajo muy representativa.

Dentro de los rasgos importantes de México en relación con la producción de polímeros podemos mencionar:

- Nuestro país no es autosuficiente en materia de polímeros, por lo cuál es necesario la importación de materias.

- La mayor parte de patentes registradas en el campo de polímeros es extranjera. El sector procesador depende en gran medida de bienes de capital, como es todo el equipo de procesamiento, diseñado y constituido, en su mayor parte en el extranjero, de igual manera que en el sector de la polimerización.

- Respecto a la investigación, aunque ya se ha iniciado, desde aproximadamente una década, sigue siendo pobre, debido a la crisis económica de nuestro país, que ha afectado grandemente en el equipamiento de los centros de investigación existentes y la creación de otros, en la conservación de los investigadores -en la mayoría de los casos se han trasladado al extranjero- la falta de formación de cuadros científicos y la falta de incentivos para que los pocos especialistas realicen investigación ya que según estadísticas reportadas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la mayoría no se recibe, ocasionando una gran deserción. De tal manera que se necesita de nuestro país una verdadera revolución científica y tecnológica para poder mejorar los niveles de producción, desarrollo y autosuficiencia del mismo.

CAPITULO III:

METODOS DE RECICLADO PARA PLASTICOS.

CAPITULO III

METODOS DE RECICLADO PARA PLASTICOS.

3.1 INTRODUCCION.

La importancia de la operación de reducción de tamaño o desintegración - de trozos, gránulos o partículas, en la actualidad no consiste solamente en - obtener pedazos pequeños a partir de grandes, sino que también se persigue te - ner un producto final que posea determinado tamaño granular comprendido entre límites pre-establecidos; ya que en la mayoría de las ocasiones se da el caso que un sólido con un intervalo de tamaño satisfactorio para una operación de - terminada pueda resultar inconveniente para otra operación, aunque se trate - de la misma sustancia como sucede con el carbón pulverizado que se aplica en la calefacción de hornos industriales con quemadores especiales y el carbón en trozos que se usa en los hogares donde se aplican atizadores mecánicos en los cuáles no se puede usar carbón pulverizado, ni los hornos pueden ser llenados de carbón en trozos.

Si la velocidad de reacción en la mayoría de las reacciones sobre las - partículas sólidas es directamente proporcional al área de contacto entre fa - ses; la reducción de tamaño se lleva a cabo principalmente para aumentar esta área dependiendo del tipo de industria que se trate, es el tipo de equipo y - maquinaria utilizado de acuerdo a las necesidades de reducción de tamaño. En base a ésto, para seleccionar la maquinaria adecuada para la molienda necesaria se debe de tener en cuenta los siguientes puntos:

- * Propiedades físicas del material.
- * Tamaño de la alimentación.
- * Tamaño del producto final a obtener.
- * Tonelaje que se debe moler.

Además, por otro lado, también se tiene que tomar en cuenta las caracte - rísticas principales de los materiales, es decir, si estos son duros o blan - dos, ya que dependiendo de esta característica importante es el tipo de moli - no a utilizar.

3.2 GENERALIDADES.

Antes de entrar de lleno al reciclado convencional de plásticos es necesario poder definir algunos términos relacionados directamente con el tópico aquí manejado. Desde tiempos remotos se ha intentado llegar a definiciones de carácter universal dentro del área de los reciclados siendo en este caso el científico J. Milgrom quien sugirió la clasificación más universal y mejor descrita de las áreas concernientes al reciclado de plásticos. Este sistema se basa principalmente en la facilidad de reciclado, categoría del producto, apariencia física de éste y el segmento de producción donde ha sido generado el desecho plástico. De acuerdo a estas características mencionadas podemos encontrar una serie de términos importantes dignos de consideración.

3.2.1 Residuos plásticos.

Los residuos plásticos consisten en todo aquel material plástico o producto plástico que puede ser reprocesado o que se encuentra dispuesto a este tipo de operación.

3.2.2 Residuos plásticos industriales.

Son materiales plásticos que son generados dentro de varios sectores industriales y cualquier otro sector relacionado con éste ámbito, además de poder ser reprocesado como se mencionó en el punto anterior.

3.2.3 Residuos plásticos de postconsumo.

Son productos plásticos generados por todos y cada uno de los desechos proporcionados por los consumidores de materiales.

3.2.4 Plásticos chatarra.

Son todos aquellos desperdicios plásticos que no pueden ser reprocesados mediante los métodos económicamente establecidos y convencionales conocidos.

3.2.5 Desecho plástico.

Son todos aquellos residuos plásticos que pueden ser reprocesados - dentro de los procesos comerciales y económicos establecidos con el fin de lograr obtener productos comercialmente aceptables.

3.2.6 Reciclado primario.

Es la operación dentro de la cuál la basura plástica es tratada para obtener productos similares o los mismos por la cuál fué generada, usando todos y cada uno de los métodos establecidos para este fin.

3.2.7 Reciclado secundario.

Es aquella operación donde la basura plástica se reprocesa siempre con el fin de obtener productos donde las características y propiedades de los mismos son inferiores a las que se podrían obtener con el manejo de resina virgen en una concentración del 100%.

3.2.8 Reciclado terciario.

En el reproceso de los plásticos y especialmente de la basura plástica se manejan una serie de operaciones necesarias y específicas por lo general con el fin de obtener productos comercialmente aceptables, dentro del reciclado terciario de esta basura plástica, el fin es la recuperación de los elementos químicos formadores de los polímeros involucrados.

3.2.9 Reciclado cuaternario.

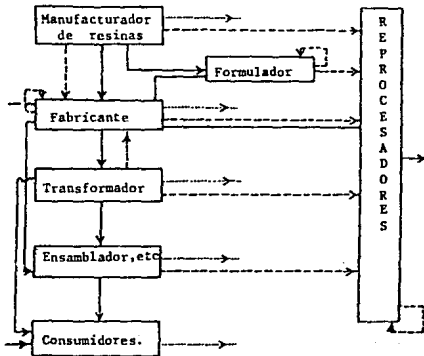
Al igual que el reciclado anterior, este también persigue un fin específico, la recuperación de energía localizada dentro de la basura plástica.

3.2.10 Ciclo comercial de los plásticos.

Este ciclo se encarga de interrelacionar el flujo de producción de materiales plásticos con la generación de desperdicios plásticos a manera de

un diagrama explicativo, el cuál se muestra a continuación. Dentro de dicho esquema el productor de la resina o las resinas se encarga de proveer tanto al fabricante como al formulador de las materias primas necesarias para su trabajo dentro del área de los polímeros. El desecho plástico generado por parte de los fabricantes de resinas se vende a todas aquellas compañías dedicadas al reproceso de las mismas o a aquellos fabricantes de resinas de segundo grado en cuanto a propiedades se refiere.

El fabricante posteriormente vende sus productos a los transformadores, ensambladores, empaques y consumidores en general. El desecho plástico generada dentro de éstas áreas es la mayoría de las veces reciclada dentro de la planta del fabricante o en ocasiones se vende a algunas compañías reprocesadoras. De esta manera los materiales se encuentran distribuidos de la manera siguiente: Materias primas son distribuidas por el despachador de resina o el formulador a manera de material virgen, el material reprocesado y reciclado es proporcionado por los reprocesadores y los desechos plásticos provienen de todos y cada uno de los transformadores de plástico.



- > Flujo del producto.
- > Flujo de la basura plástica.
- .-.-.-> Flujo de la chatarra plástica.

3.3 RECICLADO PRIMARIO.

En el reciclado primario las operaciones más importantes manejadas son - dos: La separación y la molienda, todo esto con el fin último de lograr la reducción de tamaño de los materiales sólidos de desecho. Todas estas operaciones se llevan a cabo mediante equipo mecánico a través de las fuerzas de tensión, compresión y rasgado de los materiales gracias al uso de los trituradores, molinos, pulverizadores, etc.

3.3.1 Métodos de separación.

Todos y cada uno de los métodos utilizados para la separación individual de los componentes localizados en mezclas de basura plástica se basan en la gran diversidad de propiedades físicas de los materiales manejados. Las propiedades más importantes consideradas dentro de los procesos de separación son listadas a continuación.

* Tamaño de partícula. Al igual que otras propiedades como es el caso de la ductibilidad, dureza y la resistencia al impacto, el tamaño de partícula varía considerablemente de un material a otro provocando grandes diferencias en los procesos de reducción de tamaño. Gracias a que algunos materiales presentan diferencias considerables en cuanto a los tamaños de partícula, la separación se vuelve un procedimiento fácil y relativamente simple.

* Densidad. Muchos de los métodos de separación se basan en la diferencia de densidades para poder llevar a cabo la operación con éxito.

* Electromagnetismo. Propiedad usada por algunos componentes - de carácter ferroso para poder ser separados de algunos ensamblajes plásticos. El principio en el cuál se basa es extremadamente simple en comparación a los demás métodos conocidos.

* Color. La apariencia de los materiales de desecho manejados juega un papel importante dentro de la separación de la basura plástica. Dentro de las características importantes en la apariencia de los plásticos se encuentra el color, base de algunos métodos automatizados de separación.

Las propiedades listadas con anterioridad forman la base primordial de la clasificación encontrada dentro del proceso de separación, cada uno de los tipos de separación presenta ventajas y desventajas dependiendo del mate-

rial que se este manejando.

* Separación Manual. Es la técnica más antigua utilizada hasta nuestros días. El método es realmente sencillo ya que involucra la clasificación manual de los materiales de desecho como el papel, recipientes de vidrio, cartón, etc. Por lo general se aplica en el lugar donde son generados los desechos.

* Separación Gravitacional. Raramente utilizado, este método - utiliza separadores gravitacionales donde mediante tablas vibratorias, separadores balísticos y transportadores inclinados, se puede lograr la separación de rocas y piezas pesadas, logrando con esto fluidizar el material alimentado dentro de los separadores.

* Clasificación por aire. Dentro de la clasificación aérea se encuentran tres parámetros a considerar, todo con el fin de poder llevar a cabo la operación: tamaño, gravedad específica y forma. Generalmente el proceso se realiza favorablemente con formas de zig-zag o similares, depositadas en una columna de separación, donde el aire entra a contracorriente por la parte inferior de dicha columna logrando de esta manera la separación adecuada del material. Cuando existen mezclas complejas de material de desecho, por lo general se utilizan columnas con diferente geometría a lo largo de toda su longitud.

* Separación Magnética. Este método se encuentra utilizado de la misma manera que el caso de la separación por electromagnetismo, donde materiales ferrosos son separados fácilmente de cualquier ensamble plástico.

* Separación Electroestática. Similar a la separación magnética aprovecha la habilidad de algunos materiales tal es como el papel y los plásticos de responder positivamente al efecto de una carga electroestática. Las partículas son atraídas hacia el campo electroestático para ser posteriormente depositadas en un lecho de reposo y descarga.

* Separación colorimétrica. Utilizada especialmente para separar fragmentos de vidrio dentro de la basura plástica, el procedimiento se basa en efectos ópticos de color. También encuentra aplicación al poder separar plásticos pigmentados de diferentes colores.

Cabe mencionar que dentro de todos y cada uno de los tipos de sepa-

ración se puede presentar la variante en el manejo del material de desecho - es decir, que este se puede presentar seco o húmedo. Cuando el material viene húmedo, el proceso de secado es extremadamente fácil y simple, ya que los requerimientos de energía son relativamente bajos. Por otro lado, cuando el material se maneja húmedo representa ventajas competitivas por sobre el manejo del material seco, esto implica la producción de productos con más limpieza y de mayor uniformidad en su presentación.

En la actualidad se han desarrollado técnicas comerciales para poder llevar a cabo la operación de separación, sin importar la presentación - del material a manejar, es decir, que este puede estar seco o mojado. Dichas técnicas son mostradas a continuación de manera desglosada y ejemplificada.

3.3.1.1 Proceso de separación Black-Clawson.

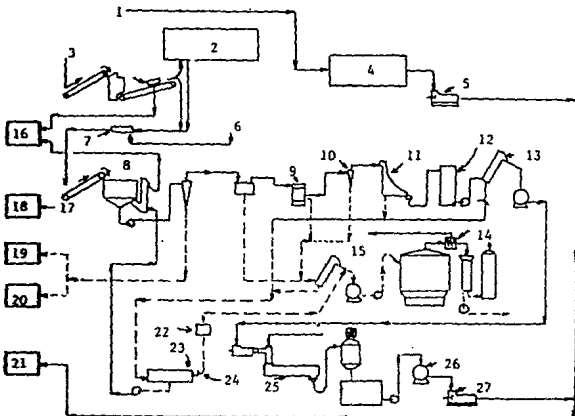
En este proceso, el material de desecho proveniente de los camiones de carga, se transporta al interior de un pulperizador hidrolítico, - donde se pastifica entre un 3 y 4% en medio acuoso. La pasta, conformada por papel, desechos orgánicos, plásticos, vidrio y pequeños trozos de metal, se - extrae del fondo del pulperizador a través de pequeñas aberturas localizadas en el lugar mencionado. Todos los objetos contenidos dentro de la pasta con - dimensiones extremadamente grandes son removidos de la misma a través de una abertura especial situada cerca del fondo del pulperizador para posteriormente la pasta ser transportada a otra etapa de la operación mediante un elevador de paletas. La descarga proveniente del elevador se lava minuciosamente en un lavador de tambor rotatorio, y los metales ferrosos contenidos dentro de la - mezcla son separados mediante una separación magnética. La pasta libre de metales ferrosos se bombea a través de un ciclón donde los desechos inorgánicos son removidos. El residuo restante contiene aproximadamente aluminio y vidrio en una concentración del 80%. La siguiente etapa es reducir de manera discreta a fibras cualquier resto de papel que se encuentre contenido dentro de la pasta y que no fue desintegrado en las etapas anteriores, además de tener que separar los materiales restantes como madera, plásticos y algunos componentes de pieles. Es por esta razón que esta etapa recibe el nombre de clasificación VR, debido a que se aplica un plato de separación pesada con perforaciones de aproximadamente 1/8 de pulgada de diámetro conectado a un rotor de alta velo-

cidad conectado a contracorriente, Así todos los objetos con dimensiones comprendidas entre 1/16 de pulgada y mayores se remueven en la segunda etapa de separación, mientras que las impurezas de tamaño pequeño y cualquier resto de basura fina se remueve en la segunda etapa de limpieza y centrifugación.

Momentos antes de que la pasta abandone el limpiador por centrifugación, ésta se pasa a través de un separador inclinado provisto de ranuras horizontales. Aproximadamente el 85% del agua contenida en la pasta sale a través de estas ranuras, llevando consigo pequeñas fibras, escombros, tierras y/o partículas de alimentos. El equipo utilizado en la primera etapa de la operación consiste en un espesador inclinado conformado por un cilindro perforado colocado a 60° con respecto a la vertical dentro del cual se encuentra un tornillo de rotación. El tornillo se encarga de transportar la pulpa a través de las perforaciones en el cilindro, descargando aproximadamente el 10% de la misma dentro de un cono presurizado donde el agua contenida se separa para obtener aproximadamente el 40% de sólidos totales. El proceso de separación de Black-Clawson es utilizado primordialmente en la industria del papel debido a las grandes ventajas que presenta para ésta, aunque se ha utilizado satisfactoriamente para la separación de plásticos y materia inorgánica.

El diagrama esquemático del proceso completo de separación por Black-Clawson se muestra en la gráfica siguiente, donde se pueden apreciar las etapas que lo conforman y por las cuáles se logra una separación adecuada de los elementos encontrados en la basura y desechos generales.

SEPARACION POR BLACK-CLAWSON,



1. Mezcla de desechos. Opcionalmente limpia.
2. Triturador de material reciclado dentro del proceso.
3. Entrada de la línea de reciclado.
4. Sistema convencional de tratamiento de papel.
5. Enfundador de material de desecho.
6. Línea de finos.
7. Etapa de secado.
9. Separación de finos.
10. Limpadores centrífugos.
11. Clasificador de fibras.
12. Flotadores selectivos.
13. Hidrosensor. (15).
14. Recuperación de calor proveniente del desecho.
16. Depositos de recuperado. (18)(19)(20)(21).
17. Hidropulpeador.
22. Agotador al vacío.
23. Clarificador de flotación.
24. Digestor. (25).
26. Lavado, bombeado y enfardado al alta presión. (27).

3.3.1.2 Sistema de recuperación Flakt.

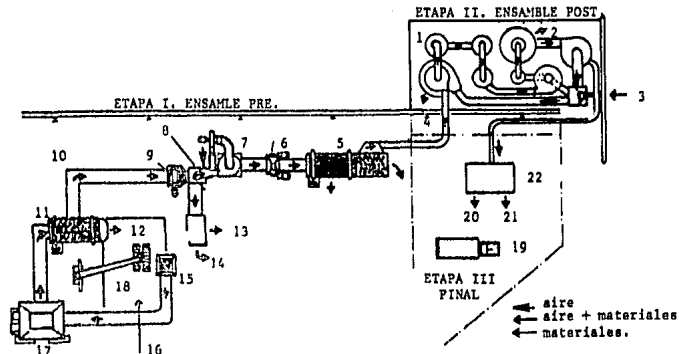
Este sistema de separación es un claro ejemplo de la operación de separación por vía seca, donde la línea de alimentación se encuentra formada por la combinación de un desgarrador encargado de trabajar con las bolsas plásticas que entran dentro de la alimentación y un tambor rotatorio de tornillo el cual se encarga de separar aquellas partes demasiado grandes contenidas en la basura. Del tambor rotatorio, el material se mueve a través de un alimentador rotatorio de tipo zig-zag para poder realizar una clasificación por aire. En esta etapa se aplica un circuito cerrado de aire donde solo una pequeña porción del mismo es filtrado y des cargado fuera del sistema. El ventilador del motor se encarga de proporcionar el calor suficiente para poder secar el material durante la operación de separación. Posteriormente una pequeña porción del material manejado se descarga dentro de un ciclón a través de un alimentador rotatorio para entrar en un segundo desgarrador. El propósito de este segundo desgarrador es el de poder eliminar cualquier impureza contenida en el material que se está manejando además de lograr uniformizar el tamaño de partícula dentro del material manejado. Esta pequeña fracción de material se encuentra formada por papel, películas plásticas y algunos textiles mientras que las impurezas que en este caso son extremadamente finas por lo general constituyen restos de madera, arena, polvo y algunos contaminantes de naturaleza similar que finalmente son separados en su totalidad en un segundo tambor rotatorio de tornillo. Toda esta materia manejada en la etapa uno que se encuentra formada en su gran parte por papel y en ocasiones contaminaciones de materia orgánica, también contiene plásticos aprovechables y residuos textiles que en su totalidad se transporta gracias al sistema neumático utilizado a lo largo del proceso.

El propósito general de la segunda etapa es el poder separar puramente todos los desechos de papel, lo cual se logra aplicando aire caliente a la mezcla que se está tratando.

Este tipo de operación de Flakt, se utiliza para poder separar todos aquellos residuos plásticos que tienen una presentación peliculada, es decir, todo tipo de bolsas, empaques y laminados que no se encuentran coextruidos con algún otro tipo de material como podría ser madera, caucho, aluminio, etc.

Los diagramas esquemáticos de las etapas conformadoras del proceso se muestran a continuación.

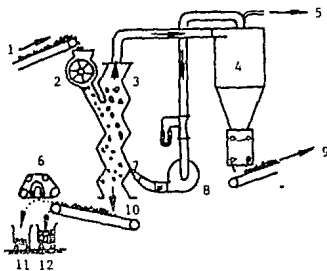
SISTEMA DE RECUPERACION FLAKT.



1. Secadoras.
2. Tratamiento térmico.
3. Entrada de gas.
4. Salida.
5. Separador rotatorio sec.
6. Triturador secundario.
7. Ciclón.
8. Clasificador de aire.
9. Alimentador giratorio.
10. Sistema de transporte.
11. Separador rotatorio prim.

12. Salida.
13. Corriente de pesados no metálicos.
14. Acero.
15. Sección de alimentación.
16. Sección de descarga.
17. Triturador primario.
18. Grúa sifón.
19. Enfardador y depósito.
20. Pesados.
21. Ligeros.
22. Remoción de suciedad.

CLASIFICADOR DE AIRE VERTICAL.



1. Alimentación del sistema.
2. Alimentador de rotación.
3. Corriente de ligeros.
4. Ciclón.
5. Hacia el filtro.
6. Separador magnético.
7. Corte de aire.
8. Ventilador.
9. Descarga al triturador secundario.
10. Pesados.
11. Depósito de acero.
12. Residuos no metálicos.

3.3.1.3 Separación de mezclas papel/plástico.

Este tipo de desperdicios son los más comunes dentro de las plantas dedicadas a la separación de componentes. Para poder manejar una producción comercialmente competitiva tanto a nivel de proceso como de producto final es necesario realizar la separación hasta sus últimos términos, es decir, lograr obtener cada componente por separado. Dentro de este tipo de mezclas el problema principal que se presenta es la gran similitud aerodinámica existente entre el papel y algunas películas plásticas, por lo cual se han sugerido hasta nuestros días tres principios básicos a considerar para poder llevar a cabo con éxito la separación total de estas mezclas: Es necesario aplicar calor, formar una pulpa en medio acuoso y finalmente aplicar una separación electrodinámica.

En el primer caso, cuando se aplica calor a la separación de este tipo de mezclas provoca el cambio en las propiedades de los plásticos involucrados, por esta razón, sólo se aplica cuando los requisitos del material recuperado no son extremadamente altos. La separación consiste en utilizar un cilindro cromado y calentado eléctricamente que a su vez se encuentra conectado con un tubo rotatorio provisto de cavidades para el aprovechamiento sustancial del calor proporcionado por el cilindro. El tambor interior junto con el cilindro de calentamiento se encuentran girando en sentidos opuestos. El material se alimenta al interior del tambor y el material plástico entra en contacto directo con el cilindro recibiendo el calor, para posteriormente ser desalojado. Se logra obtener un rendimiento de aproximadamente el 90% de recuperación en plástico libre de contaminantes o en su defecto la concentración máxima alcanzada de papel dentro del material plástico recuperado llega a ser del 1%. Una variante de este proceso involucra la reducción del área superficial específica de las películas plásticas debido a la acción del calor. La mezcla de plástico y papel se transporta a una zona de calentamiento donde los materiales termoplásticos se contraen reduciendo de esta manera el área superficial, posteriormente la mezcla se descarga en un separador ciclónico para la separación del papel, mientras que el plástico es circulado a un clasificador por aire donde una vez seleccionado se descarga listo para su mollienda.

La mayoría de las mezclas papel/plástico pueden separarse por este método, ya que la eficiencia es alta y la pureza casi del 100%.

SEPARACION DE MEZCLAS PAPEL/PLASTICO.

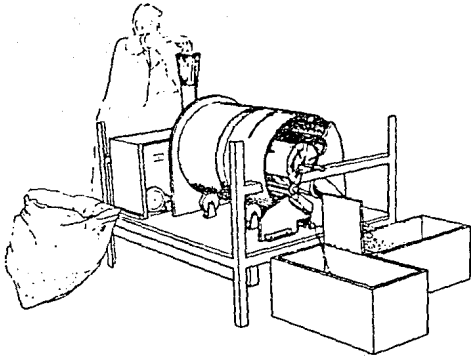
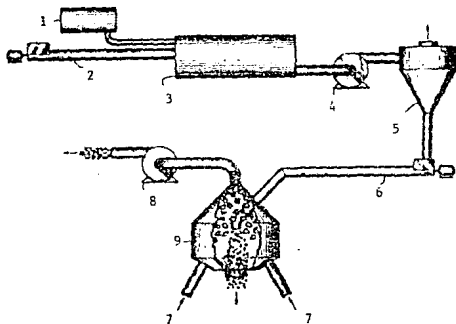


Diagrama ejemplificativo del cilindro de calentamiento.

PROCESO DE REDUCCION EN AREA SUPERFICIAL.

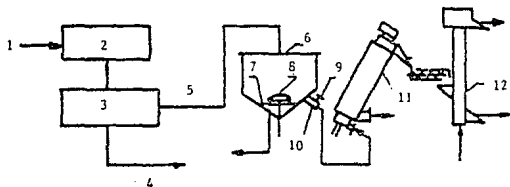


1. Calentador.
2. Transporte de material.
3. Deshidratador.
4. Bomba de soplado.
5. Separador ciclónico.
6. Transporte del material separado.
7. Entradas de aire.
8. Bomba de soplado.
9. Clasificador de aire.

Por el caso contrario, cuando se maneja la producción de una pulpa en medio acuoso, el proceso utilizado es similar a la separación de Black-Clawson presentada con anterioridad. Aquí, una banda transportadora se encarga de depositar el material dentro de un desgarrador, para posteriormente ser transferido hacia un clasificador por aire. La fracción proveniente del clasificador constituida en un 80% por papel y 20% en plásticos se deposita dentro de un pulperizador equipado con un rotor y un plato de extracción conformado por una serie de perforaciones relativamente pequeñas por donde la pulpa de papel puede pasar sin ningún problema. Las partículas de plástico retenidas dentro de un tubo son descargadas a través de una salida especial provista por una válvula de control. Esta mezcla rica en plástico se pasa por un desecador para finalmente ser clasificada en los ya conocidos clasificadores por aire. El diagrama esquemático se muestra en la figura correspondiente al procedimiento de separación aquí tratado.

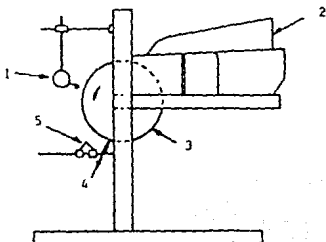
En el caso final, cuando se utiliza una separación electrodinámica, la mezcla de plástico y papel se alimenta a un separador mediante un alimentador vibratorio. El material alimentado cae dentro de un tambor de campo rotatorio y que se encarga de proporcionar un campo corona formado entre un electrodo alámbrico fijo y el tambor. El papel gracias a este campo formado es atraído hacia el electrodo mientras que los componentes plásticos se adhieren a las paredes del tambor. A la vez que se lleva a cabo la separación eléctrica del material, el tambor gira de manera que el plástico pueda ser depositado al fondo del mismo. Para que la operación se desarrolle de manera óptima se recomienda manejar rangos de material comprendidos entre 1 y 3 pulgadas, voltajes de 35 V hasta 5 kV con una distancia de 6 pulgadas entre el electrodo y el tambor. Los resultados finales son muy satisfactorios aunque también se recomienda el uso de concentraciones altas de plástico dentro de la mezcla de papel/plástico. El diagrama ilustrativo del proceso se muestra en el dibujo donde se muestra el equipo especial para la aplicación del campo eléctrico.

PULPACION EN MEDIO ACUOSO.



1. Transporte de material.
2. Unidad de triturado y secado.
3. Calsificador de aire.
4. Corriente de pesados.
5. Corriente de ligeros.
6. Pulpeador.
7. Plato de extracción.
8. Rotor.
9. Válvula de seguridad.
10. Salida del producto separado.
11. Unidad Dehidrogenadora.
12. Clasificador de aire.

SEPARACION ELECTRODINAMICA.



1. Electrodo de aluminio y electrodo cubierto.
2. Alimentador vibratorio.
3. Tambor rotatorio periférico.
4. Cepillo.
5. Válvula de vapor ajustable.

3.3.1.4 Separación de coextrusiones plásticas.

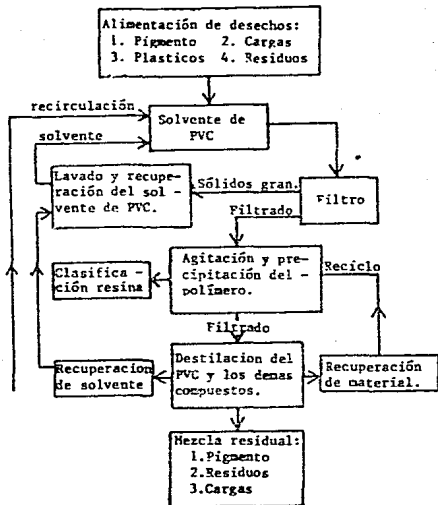
Debido a que en la actualidad las coextrusiones plásticas han cobrado fuerza dentro del campo comercial de los polímeros, se presenta el problema al querer reciclar este tipo de productos el hecho de tener que separar los componentes constituyentes de la coextrusión, que por lo general es un PVC coextruido con algún otro material plástico.

Como etapa inicial de la separación, es tener cortado en trozos manejables las coextrusiones a tratar y de ser posible clasificadas por color. Una vez que el material se ha clasificado, éste se seca y se deposita dentro de un tanque enchaquetado para posteriormente ser llenado con algún solvente, que dependiendo del material coextruido, podría ser tetrahidrofurano para finalmente ser sellado. Una vez formada la mezcla, ésta se lleva a un calentamiento con una temperatura ligeramente más baja a la temperatura de ebullición del solvente utilizado. Gracias al efecto de la temperatura, la resina se disuelve dentro del solvente; una vez terminado el proceso, la solución formada se transfiere a un tanque de almacenamiento para fomentar la formación de fibras plásticas. Es necesario mencionar que se deben de hacer por lo menos tres lavados para una extracción total. En el caso de que exista solvente atrapado en las fibras formadas, éste es removido mediante nitrógeno ligeramente caliente. Una vez secas las fibras, éstas se cortan y envuelven para ser utilizadas en el remolido. La solución polimérica debe ser filtrada para remover cualquier resto de pigmentos, cargas o cualquier otro contaminante existente. Una vez limpia, la fibra se alimenta a un preconcentrador que generalmente es un evaporador de película vertical. La solución de entrada contiene aproximadamente entre un 30 y 40% de sólidos. Finalmente éstos sólidos son secados en un medio al vacío dentro de un evaporador de película fina. El producto obtenido que por lo general se presenta en forma granular se encuentra libre de color, carga o cualquier contaminante, es decir, que su presentación es extremadamente similar a la de su origen además de que las propiedades se han conservado y en ocasiones son hasta mejoradas.

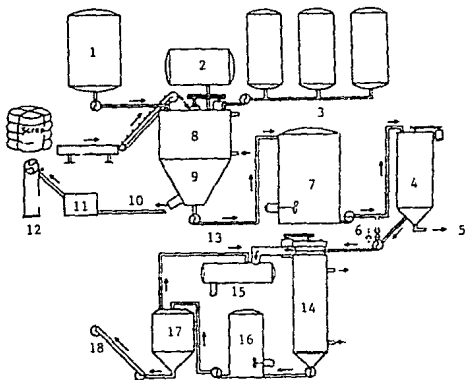
Gracias a este tipo de separaciones es posible recobrar la resina coextruida en su totalidad y sin ninguna fatiga de carácter térmica, por lo cual se ventaja comercialmente.

El diagrama de flujo y el equipo necesario para el proceso completo se muestra en los siguientes esquemas.

SEPARACION DE COEXTRUSIONES PLASTICAS,
Diagrama de flujo.



SEPARACION DE COEXTRUSIONES.



1. Depósito para el solvente.
2. Depósito de nitrógeno.
3. Tren de lavado rotacional.
4. Filtro.
5. Corriente de pigmentos y cargas.
6. Bypass.
7. Depósito de polímero (15% sólidos).
8. Reactor de lavado.
9. Unidad de calentamiento y agitación.
10. Salida de fibra limpia.
11. Secador.
12. Empacador de fibra.
13. Solución polimérica (PVC).
14. Evaporador primario.
15. Condensador de solvente limpio.
16. Tanque de agitación (40% sólidos).
17. Secador de resina.
18. Formulación libre de pigmentos.

3.2.1.5 Separación de coextrusiones plástico/madera/papel.

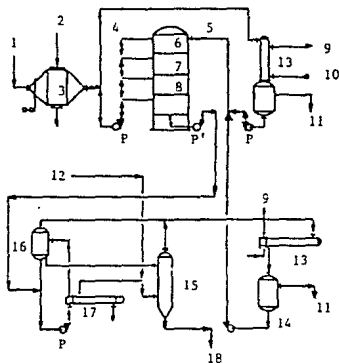
Desde los años cuarentas, que se logró desarrollar la forma -
ción de coextrusiones plásticas con materiales de diferente naturaleza, la po-
sibilidad de reciclar los componentes de dichas coextrusiones se volvió una -
complicación. Por esta razón se lograron desarrollar dos técnicas diferentes
para la separación de este tipo de productos. Las dos técnicas representan la
gran posibilidad de obtener plásticos con excelentes características. Estas -
dos técnicas diversas entre sí son: Proceso de pulpación acuosa y el proceso
de extracción con solventes.

En el primer caso, es decir la pulpa acuosa, el papel y la
madera contenidos dentro de la coextrusión forman una pulpa acuosa mientras -
que los productos plásticos se separan de la pulpa a manera de láminas o lar-
gas hojas. Opcionalmente se puede remover la pulpa de las partes plásticas, -
por lo general la pulpa se obtiene relativamente limpia mientras que las ho-
jas de plástico por lo general contienen residuos fibrosos de papel y madera.

En el segundo caso, cuando se maneja una extracción con solven-
tes, los desechos a tratar por lo general son empaques y algunos recipientes
coextruídos con diversos materiales, entre ellos plástico. El procedimiento -
implica una serie de lavados múltiples del papel coextruído sobre los otros -
material con un solvente caliente que por lo general es percloro-etileno y
una corriente de vapor que se encarga de remover cualquier huella de solvente
presente en la fibra al final de los lavados. Por lo general, una vez que se
realizaron dichos lavados y ya seco el material, este se carga a un disolve -
dor secador para llevar a cabo la extracción con solvente, una vez realizada
la extracción, cualquier rastro de solvente se remueve mediante una evapora-
ción. Posteriormente el material se seca con vapor u queda preparado para rea-
lizar el pulpado, el vapor se condensa y el solvente restante es decantado.
El solvente recuperado se destila con el fin de poder ser utilizado nuevamen-
te dentro del proceso. Por otro lado la coextrusión se recoge libre de la pul-
pa de papel o madera, quedando lista para una molienda o un rehuso.

El diagrama explicativo del procedimiento se muestra en la figu-
ra. Cabe mencionar que este proceso junto con el anterior son procesos relati-
vamente caros y por lo tanto representan desventajas con respecto a otro tipo
de separaciones.

SEPARACION DE COEXTRUSIONES PLASTICO/MADERA/PAPEL.



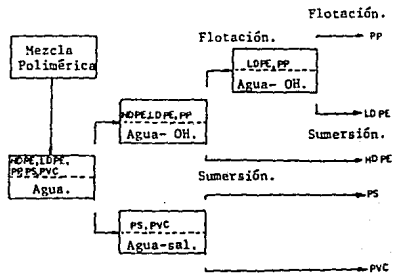
1. Corriente de vapor.
2. Material coextruido.
3. Unidad de disolución y secado.
4. Estación de lavado triple con solvente.
5. Recuperación de solvente.
6. Tercera etapa de lavado.
7. Segunda etapa de lavado.
8. Primera etapa de lavado.
9. Corriente de retorno.
10. Corriente de alimentación.
11. Corriente de agua a purificación.
12. Corriente de vapor.
13. Condensador. (17)
14. Decantador.
15. Unidad de soplado.
16. Evaporador "Flash."
18. Material removido de la coextrusión.

3.3.1.6. Separación de mezclas plásticas.

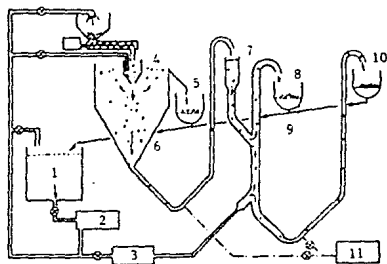
En ocasiones los desechos plásticos se encuentran conformados por mezclas de diversos polímeros, lo cual involucra una serie de problemas para su tratamiento debido a que la mayoría de las veces son incompatibles entre sí. En la actualidad se han desarrollado tres procesos para lograr la separación de este tipo de mezclas: Método de sumersión-flotación, método de las tensiones superficiales y la extracción por solventes. Cada uno de ellos con sus ventajas con respecto a otros, aunque los tres presentan la desventaja de no poder realizar separaciones en aquellas mezclas extremadamente complejas.

En el primer caso, el método de sumersión-flotación, este aprovecha el principio de diferencia de densidades aplicado en un separador de sumersión-flotación. El principio es realmente sencillo, ya que se utilizan mezclas universales, la primera de ellas es agua simple, las mezclas subsecuentes son dos mezclas alcoholicas en diferentes concentraciones y finalmente una solución salina acuosa. En combinación con este principio para maquinizar el proceso se utiliza a la par un separador hidráulico basado en el principio de titulación, para poder diferenciar los plásticos que se van separando debido a la diferencia de densidades existente entre ellos.

El diagrama de flujo y el equipo utilizado se muestran en las graficas siguientes:



SEPARADOR HIDRAULICO.



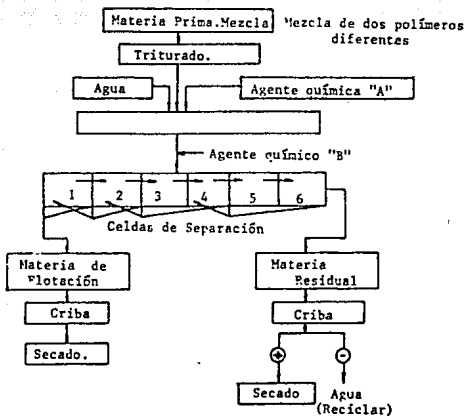
1. Depósito de agua.
2. Bombeado de agua.
3. Medidor de flujo.
4. Mezcla polimérica (PO, PS, PVC).
5. Primera separación (PO).
6. Separador de flotación-sumersión.
7. Mezcla polimérica secundaria (PS, PVC).
8. Segunda separación (PS).
9. Separación titulada.
10. Tercera separación (PVC).
11. Alimentador de aire.

En el segundo método, el cuál se basa en las diferentes tensiones superficiales presentadas por los diferentes polímeros, toma en cuenta la hidrofobicidad de la mayoría de ellos para hacer uso de surfactantes selectivos los cuales escogen estratégicamente los polímeros a separar. Dentro del progreso de la operación, es necesario la elaboración de una celda de flotación para plásticos que satisfaga una serie de requisitos adecuados para una buena separación: Las burbujas generadas dentro de la celda de flotación deben tener un rango uniforme de tamaño, se debe de mantener una constante agitación para evitar la sedimentación de partículas de gran tamaño, no deberá de existir turbulencia en el agua de flujo que recorre la zona de separación y finalmente el área acuosa deberá ser suave y estable a lo largo de toda la operación.

A continuación se muestran una serie de pruebas con diferentes mezclas y los resultados obtenidos a través del método mencionado con anterioridad, además de exponer el esquema representativo del proceso completo.

MUESTRA ANALIZADA	COMPOSICION (%)	MATERIAL DE FLOTACION	MATERIAL EN RESIDUO	
Palleta PE + Gránulos PVC	50 50	PE	98.61	PVC 96.61
Folícula PP + Desecho PVC-B	50 50	PP	98.62	PVC 97.81
Gránulos PMA + Gránulos PVC	50 50	PMA	98.82	PVC 97.32
Folícula PE + Láminas PVC-F	50 50	PE	98.82	PVC 97.32
Palleta PA + Gránulos PVC-B	50 50	PA	98.52	PVC 98.52

Pelleta PS + Pellicula PP + Lámina PVC-F	34 33 33	PP	98.71	PVC	97.41
Pelleta PS + Pellicula PP + Pellicula PE + Pellicula PA + Gránulos PVC-R	20 20 20 20 20	PP PE	98.81	PVC	95.81
Gránulos PP + Gránulos PS	43 33	PP	97.01	PS	99.01
Gránulos PP + Pellicula PE	50 50	PP	98.81	PE	97.31
Pellicula PET + Pellicula Celulosa	50 50	PET	100.01	Celulosa	99.81



Finalmente, el último método involucra el uso de polímeros de alto peso molecular debido a que estos raramente son solubles en otros polímeros de naturaleza similar, por lo tanto cuando dos polímeros químicamente diferentes se mezclan estos forman dos fases, cuando se utiliza el solvente apropiado, uno de los polímeros se disuelve logrando una inmiscibilidad absoluta en la mezcla usada. En el caso de tener una mezcla demasiado compleja, es decir, que los componentes involucrados rebasa el número de dos, mezclas de solventes se pueden manejar de manera selectiva con el fin de poder disolver todos y cada uno de los componentes, esto nos proporciona fases con un 90 y en ocasiones hasta 100% de pureza. En la tabla que a continuación se muestra nos ejemplifica de manera sencilla y rápida la eficacia de este método y el número de corridas necesarias para separar en este caso una mezcla de cinco polímeros diferentes.

MUESTRA	PESO (g)					POLÍMERO TOTAL (g)	CICLO-VEZAMORA (g)	PS (g)	PP (g)	PVC (g)
	LDPE	HDPE	PP	PS	PVC					
1	45	21		17	17	17	15	96.9	98.8	98.4
2	45	21		17	17	10	15	98.6	99.5	98.9
3	24.3	16.5	13.2	17	17	10	15	97.1	80.0	97.9
4	45	21		17	17	10	10	96.8	98.5	97.4
5	45	21		12	22	10	15	97.7	97.8	98.8
6	66			17	17	10	15	97.5	99.0	98.3
7		66		17	17	10	20	98.8	98.9	98.3
8	41.6	19.4	19.5	19.5	10	10	11.5	99.1	99.1	98.6
9	45	21		17	17	12.5	15	98.9	99.5	99.1
10	45	21		17	17	12.5	20	99.2	99.3	99.5
11		66		17	17	12.5	20	98.5	99.2	98.7
12	41.6	19.4		19.5	19.5	12.5	19.5	99.5	115	99.3
13	45	21		17	17	15	15	99.5	99.9	99.6
14	45	21		17	17	15	15	99.6	99.6	99.3
15	45	21		17	17	15	20	99.8	100	99.3

3.3.2 Procesos, maquinaria y equipo convencional de molienda.

Como ya se ha definido con anterioridad, gracias a que los polímeros se clasifican como termoplásticos y termofijos, es de esta clasificación de donde se ha partido para definir el aprovechamiento y posible reciclamiento del material.

De acuerdo con las definiciones de los termoplásticos y los termofijos respectivamente, en el pasado se había llegado a la conclusión de que los materiales termoplásticos sí se podían recuperar mientras que los materiales termofijos no, sin embargo, gracias a los avances de tecnología, hoy en día se ha logrado el aprovechamiento de los termofijos a la par que los termoplásticos.

Los métodos por los cuales se recuperan y aprovechan nuevamente los materiales plásticos de acuerdo a que todos ellos implican la operación de molienda se encuentran agrupados de la manera siguiente:

TERMOPLASTICOS:

- * Triturado.
- * Pelletizado.
- * Compresión.
- * Granulado.
- * Molienda criogénica.

TERMOFIJOS:

- * Triturado.
- * Compresión.
- * Granulado.
- * Molienda criogénica.

3.3.2.1 Granulado.

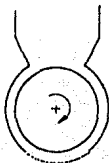
El proceso de granulado se encuentra aplicado a todas las resinas termoplásticas. La mayor fuente de generación de desperdicios para reciclar por este método, se encuentra en los mismos fabricantes de las resinas, quienes suelen tener productos fuera de especificación; los transformadores y en algunos casos el sector agrícola contribuye de manera considerable debido a las etapas de distribución y venta de diferentes tipos de envolturas como lo son bolsas, películas, botellas y algunos productos moldeados.

Dentro del equipo de granulación, varios tipos de granuladores se utilizan hoy en día, dependiendo de las necesidades y requisitos buscados, el tamaño de las piezas a regranular y la forma física que el material de desecho presente (películas, tubos, hojas, mazarotas). Cada granulador consiste en una tolva de alimentación, una cámara de corte que generalmente es un rotor con cuchillas ensambladas sobre él, un tornillo o flecha de giro y una descarga. La forma de la tolva se diseña de manera especial de acuerdo a las formas específicas presentadas por el material de desecho. Por otro lado, los granuladores presentan opciones de alimentación, como es el caso de algunos de ellos que dentro de su configuración física presentan barrenas de alimentación o rodillos rotatorios para la introducción adecuada de las películas. La mayoría de las tolvas están provistas por mamparas o compuertas para prevenir un posible regreso del material introducido.

La granulación se lleva a cabo dentro de la cámara de corte la cual está provista de unas paredes extremadamente gruesas para poder proteger tanto al material como la zona de trabajo. En cuanto a la geometría utilizada en la entrada de alimentación por lo general se recomiendan las representadas en el esquema que se muestra; en el caso de la entrada normal llamada "straight down", el material al momento de entrar inmediatamente recibe en la parte inferior un golpe de cuchilla proporcionado por el rotor logrando así el corte, la desventaja de éste tipo de entradas es que en el momento que la cuchilla sube para jalar al material, éste se regresa a la tolva por la cual entró, este problema se minimiza cuando la tolva se ubica a un lado del movimiento de salida del rotor. Cuando se maneja un rotor vertical, el material cae directamente al área de corte, el mismo movimiento de las cuchillas empujan al material al interior de la cámara de corte, favoreciendo de esta forma la granulación y evitando la salida del material granulado.

GRANULADORES.

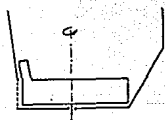
Genometría de las entradas de alimentación:



Entrada "straight down".



Entrada con alimentación tangencial.



Entrada con rotor vertical.

Una vez logrado el diseño adecuado en la entrada del granulador, toca al diseño y el montaje de las cuchillas. En cuanto al montaje de éstas, existen dos formas adecuadas para el montaje: radialmente y tangencialmente. El montaje tangencial es generalmente utilizado para una mollienda y granulación fina aplicada especialmente a materiales relativamente suaves dentro de los cuáles la generación de calor es mínima; por el caso contrario, cuando se maneja un montaje radial, los resultados obtenidos se encuentran en función de la función de corte. En las figuras propuestas se intenta mostrar estos dos montajes de las cuchillas dentro del rotor.

En el caso del diseño de las cuchillas, se recomienda que estas sean montadas en rotores abiertos conformado por una serie de soportes orillados o en caso contrario que el montaje se lleve a cabo sobre rotores sólidos. En las figuras mostradas se ejemplifica tanto el diseño de las cuchillas como los rotores usados en la operación aplicando un incremento en el número de cuchillas montadas sobre el rotor, de aquí derivamos que entre más cuchillas se encuentren montadas sobre el rotor, más material podrá ser granulado aunque esto implique una baja en la efectividad de picado del granulador. En la práctica se recomienda el uso de rotores de dos o tres árboles guía.

Cuando se opera el equipo de granulación, las cuchillas móviles giran en contra del filo proporcionado por las cuchillas fijas llamadas comúnmente "camas de corte". Usualmente en un equipo convencional se logran encontrar dos camas de corte aunque es posible establecer más de dos camas de corte en un mismo equipo.

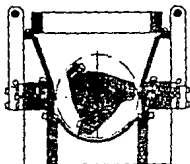
Agregando a todo esto, la posición adecuada de arreglar el árbol dentro del equipo de granulación puede variar de un equipo a otro, este es un parámetro importante dentro del diseño total del granulador, varios arreglos se pueden encontrar y todos y cada uno de ellos muestran un excelente potencial de trabajo, así que realmente no existe una ventaja considerable entre un arreglo y otro.

En la actualidad, gracias a los avances tecnológicos se han logrado fabricar granuladores que cumplen todos los requisitos de diseño aquí listados. Todos estos se encuentran catalogados y clasificados dentro de grupos base, los cuales listamos a continuación.

El primero de ellos, conocido como granuladores de tijera para corte, que día a día aumentan su popularidad entre los comerciantes.

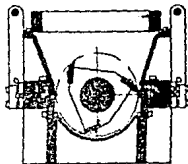
GRANULADORES.

Montaje de cuchillas:



Montaje Radial

Rotor cerrado



Montaje Tangencial

Rotor abierto

Diseño de cuchillas:



Cuchilla de montaje radial en rotor.



Cuchilla de ángulo escarpado.



Cuchilla con bisel de retorno.

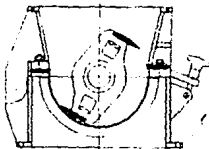


Cuchilla de enganche en rotor.

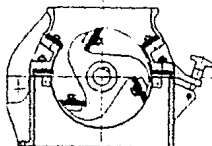
Diseño de rotores:



Arreglo de las camas de corte



Dos camas de corte.



Cuatro camas de corte.

Arreglos en las cuchillas.



Cuchillas paralelas.



Cuchillas con ángulo rotado.



Cuchillas con ángulos birotados.



Cuchillas en arreglo V sencillo.



Cuchillas en arreglo de V compuesto.

se aplica generalmente para aquellos desechos con dimensiones muy grandes y formas diversas. Dentro de este tipo de granuladores, la acción de la tijera de corte se encuentra en juego junto con una serie de cuchillas oblicuas rotatorias montadas sobre un rotor que a su vez logra la remoción de las partes ya granuladas, ya que el ensamble de las cuchillas es realizado de manera escalonada.

El segundo grupo de granuladores, conocidos como granuladores de rotores encontrados, debido a los giros opuestos de los dos rotores localizados dentro de la maquinaria realizan el mismo tipo de trabajo que los granuladores de tijera, con la diferencia de que dentro de la estructura de la maquinaria no existan cuchillas estacionarias o fijas.

Finalmente, el último grupo de granuladores son aquellos conocidos como granuladores de dos etapas, ya que en ellos se encuentra una etapa inicial de alimentación, donde las piezas grandes del desecho son primeramente reducidas a un tamaño adecuado para ser posteriormente introducidas en la cámara de corte y finalizar así la granulación del material.

Dentro del funcionamiento de los granuladores, la eficiencia de los mismos se encuentra determinada en su mayor parte por el área de granulación y el tamaño de la entrada, la cuál se encuentra oscilando entre 1/4 y 3/8 de pulgada de diámetro. Los problemas de taponamiento se resuelven fácilmente al realizar una serie de perforaciones dentro de la cámara de corte localizados exactamente debajo de la cámara. En el caso del rotor, éste se encuentra conectado directamente al motor, o en su defecto se ensambla a un árbol del tipo V; una conexión directa con el motor implica un trato más rudo del material y por consiguiente una mejor eficiencia en el granulado. Por otro lado, los granuladores se encuentran equipados con sistemas de seguridad, especialmente con aquellos que impiden el acceso a la cámara de corte mientras el equipo se encuentra funcionando.

Debido a la gran diversidad de plásticos existentes, tanto a nivel de termoplásticos y termofijos, algunos de ellos presentan dificultad dentro de la operación de granulado siendo en ocasiones imposible, debido a las propiedades físicas del material, como es el caso de los termofijos espumados, algunas películas de baja densidad y fibras. Por esta razón los expertos recomiendan el uso de equipo especializado para el reciclado de este tipo de materiales, dentro de este equipo y proceso se encuentra a la molienda -

criogénica como el proceso líder en cuanto al reciclado universal de plásticos claro está, que dicho proceso junto con el equipo y maquinaria necesarios serán tratados especialmente en un apartado especial.

3.3.2.2 Triturado o Molido.

Las piezas de gran tamaño, coladas, mazarotas, piezas defectuosas, cuerpos huecos, madejas de hilo, piezas fuera de especificación o sobrantes de producción, exige, según el tipo de material y la forma, la utilización de instalaciones de corte y molienda especiales. Las fábricas de maquinaria - de este sector, ofrecen instalaciones adecuadas para cada caso. La molienda o triturado incrementa la densidad aparente hasta tal punto que permite un transporte rentable y buenas eficiencias de producción. En este caso sólo se requiere de molinos, los cuáles despedazan el material a recuperar proporcionando - un producto molido a diferentes tamaños dependiendo de las necesidades y requisitos del material recuperado.

Dentro de la operación de triturado, los molinos o sistemas de molienda se encuentran divididos en dos grandes grupos: Molinos de acuerdo a la presentación del plástico a moler y los molinos de acuerdo a su construcción.

En el primer grupo, los molinos clasificados de acuerdo a la presentación del material de desecho, podemos encontrar cinco subgrupos diferentes: Molinos de películas plásticas, molinos de tubos y perfiles, molinos de piezas de desecho, molinos de fibras y molinos de purgas.

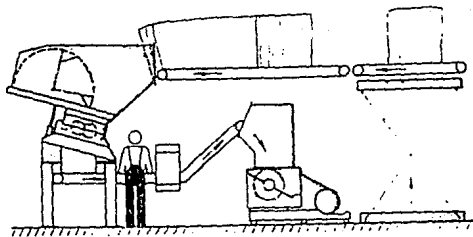
Cuando se habla de los molinos de películas plásticas, es necesario mencionar que de acuerdo a la lista de fabricantes, se han desarrollado dos molinos especiales que cumplen con las características necesarias de operación:

- Trituradora de cilindro cortante. Esta cortadora consta previamente de una trituradora y a la vez dosifica de modo independiente el material en grandes porciones, es muy adecuada como trituradora previa en líneas automáticas de películas plásticas y otras líneas de tratamiento. La maquinaria se basa en dos árboles previamente equipados con cuchillas de desgarrar los cuales giran lentamente una en contra de otra, tomando, triturando, cortando y desgarrando el material a transformar. En ocasiones el aparato puede equiparse con una contra estampa para la alimentación forzada de piezas vo

luminosas. La selección adecuada de herramientas trituradoras permite adaptar la maquinaria a la transformación de neumáticos y material amontonado o re — vuelto.

- Molino triturador compacto. Este tipo de molinos, por lo general son máquinas robustas y silenciosas para carga de nivel medio, de construcción compacta, transportables, fáciles de limpiar e integrables sin problemas como elemento adicional. La mayoría de ellos se encuentran diseñados para frecuentes cambios de colores y materiales. La disposición oblicua de las cuchillas en el rotor y el estator en distinta dirección reduce no tan sólo el nivel de ruido, sino también la fuerza necesaria, mejora la calidad del material molido, ya que se presenta un menor porcentaje de partículas finas, mayor peso a granel, se incrementa la capacidad de producción y se reduce el peligro de bloqueo, así como la carga en la punta de la cuchilla, lo que prolonga considerablemente la duración de las herramientas. El efecto de corte de tijera se ve duplicado gracias a la oblicuidad doble en comparación con los molinos de tan sólo oblicuidad sencilla de las cuchillas. Los errores en el intersticio de corte, como surgen en tales molinos, en este tipo de equipos son compensados gracias a un intersticio de corte constante a todo lo ancho de la cuchilla. En el caso de los rotores usados en este tipo de equipos, los soportes de éstos están habilitados con apoyos de rodamientos separados de la cámara de molienda. Así no pueden penetrar polvo en los rodamientos y no puede llegar grasa al material molido. Las superficies frontales del rotor son fácilmente accesibles gracias a que es una máquina abierta. La carcasa está dividida por el centro y es abatible a diferencia de muchas otras máquinas las cuales sólo proporcionan maquinaria con una tolva abatible. Dentro de las características más importantes de este tipo de maquinaria, son los tamices, los cuales se abaten hacia arriba gracias a tener un molino abierto. - El diagrama explicativo y formativo de este tipo de equipo se muestra en la gráfica siguiente.

MOLINOS DE PELICULAS PLASTICAS.



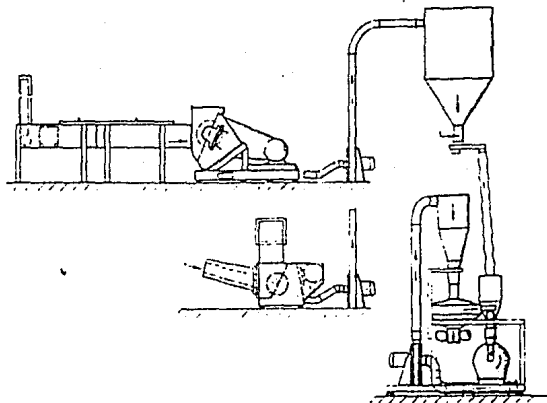
Molino Triturador Compacto.

En el caso del segundo subgrupo, los molinos de tubos y perfiles, se involucra la recuperación del material en polvo mediante el tratamiento combinado de trozos de tubos y perfiles. La maquinaria utilizada para este tipo de presentaciones es la que a continuación se describe:

- Molino triturador de tubos. Se encuentran diseñados especialmente para la molienda de tubos hechos en polietileno, polipropileno, polibutadieno, polimetil-metacrilato y PVC, aunque con algunas adaptaciones - se puede utilizar para la molienda de fardos de películas y algunos desechos de piezas. Se encuentran provistos de un sistema de alimentación forzada con carga horizontal además de tener una cuba de carga acoplada cuya tapa se cierra durante el proceso de molienda. Se plantea la combinación de un campo de amperaje alto junto con una rueda flotante giratorio para el rotor, lo cuál ayuda al manejo adecuado de materiales con durezas muy altas.

- Molino triturador de perfiles. La base de este tipo de maquinaria es grosso modo similar y casi igual al diseño de los molinos utilizados para tubos, donde la diferencia se ve marcada por el uso de un rotor de autoretracción de varias cuchillas las cuales permiten la entrada de piezas de desecho largas sin tener que cortarlas previamente en trozos más pequeños y de mejor transporte. Además, la mayoría de los equipos se encuentran provistos con sistemas de seguridad en el caso de que, cuando la cámara de molienda se encuentra completamente llena, el motor cesa su trabajo, hasta que esta se encuentre por lo menos desalojada en un 30 a 50% de la capacidad de llenado. El diagrama esquemático del sistema con una amplificación del sistema - cortante se muestra en las gráficas siguientes de manera que se puede apreciar de manera general la molienda de perfiles.

MOLINOS DE TUBOS Y PERFILES.



Molino Triturador de Perfil.

El tercer subgrupo de molinos, aquellos encargados de tratar - piezas de desecho, implican un lavado, una separación y un secado de los desperdicios sucios. Este campo de molienda se encuentra muy reducido en comparación a los otros campos, ya que sólo existe un tipo de molino que satisface - adecuadamente las necesidades.

- Molino de discos por impacto. La maquinaria consta de - trituradoras de precisión de alta velocidad para pulverizar materiales medianamente duros, resistentes al impacto y quebradizos. Aplicaciones típicas son la pulverización de materiales de PVC, polietileno, policarbonato y otros materiales sensibles al calor y la temperatura. El material a pulverizar se introduce por el centro del disco fijo y es empujado hacia afuera por la fuerza centrífuga entre el disco estator y el disco rotatorio. El polvo es evacuado de la cámara de trituración a la cubeta situada directamente debajo. Una placa estriada de impacto en forma de disco gira a gran velocidad contra una placa de impacto de estator. El empleo de cojinetes especiales lubricados con grasa permite velocidades lo suficientemente altas para hacer innecesario el diseño alternativo de utilizar dos placas que giran en sentido contrario. Ello reduce los gastos mecánicos y eléctricos.

Las ventajas particulares son: una sección transversal pe queña de la cámara de trituración, el disco casi plano y la posición vertical de este disco de trituración. El material es cogido y reducido inmediatamente al entrar en la cámara de trituración, lo cual evita las oleadas de material en la cámara de trituración y los aumentos de temperatura, proporcionando así mayores rendimientos.

La finura del material se determina por la velocidad y el ajuste del entrehierro entre el disco de trituración. El entrehierro se ajusta fácilmente fuera del molino mediante pernos de ajuste y utilizando un cali bre de espesor. Ello permite el ajuste más simple y la adaptación a diversos tipos de material. La gran velocidad alcanzada debido al uso de cojinetes especiales y un único motor de accionamiento garantizan una trituración por impacto altamente eficaz mediante un bajo consumo de energía y elevados rendi mientos de paso de material.

El penúltimo grupo de molinos, los destinados a moler fibras, abarcan la transformación automática de materiales elásticos y fibras plásticas de gran tamaño en líneas de dos etapas. Dos equipos y maquinaria especifi

cos son utilizados dentro de la molienda de fibras;

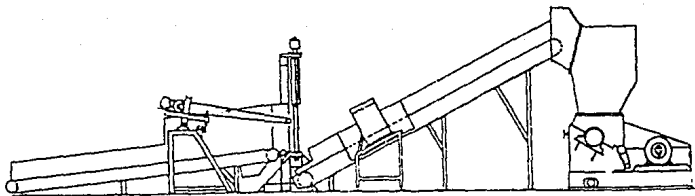
- Tijeras de guillotina. Consta de separadores hidráulicos, los cuales ayudan a realizar modificaciones dentro del equipo para la molienda de caucho, películas, plásticos espumados y otros materiales.

En la mayoría de los casos donde se manejan materiales fáciles de aglutinar en fardos, es necesario un sistema de precorte el cual se debe encontrar ensamblado directamente sobre el equipo. La unidad completa se encuentra formada por una carcasa manufacturada en acero fundido, dentro de la cual se inserta un sistema hidráulico que se encarga de activar, dependiendo de la capacidad del molino, seis o siete cilindros. La función de los cilindros, es la de mover horizontalmente la guillotina de corte montada sobre el molino para poder cortar el material de desecho, que se encuentra ubicado en la cuchilla de corte estacionaria. Una vez cortado el material, éste es succionado al área de trabajo gracias a la presión ejercida en la cortadora. El sistema de alimentación es sencillo y fácil de entender, ya que consiste básicamente en un transportador de banda colocado horizontalmente o ligeramente inclinado sobre la línea de trabajo. La descarga se encuentra formada por otro transportador de banda inclinado adicionado en esta etapa con un detector de metales, con el fin de poder separar cualquier resto incluido en la molienda de metal y de esta manera obtener un producto final puro y libre de contaminantes.

- Molinos trituradores finos. Se encuentran catalogados dentro de la rama de los molinos de precisión. Se les llama molinos finos por el producto final que proporcionan, gracias al giro rápido del rotor y las cuchillas de corte, el material se produce a manera de un virutado fino o polvo en forma de copos. Se encuentra provisto de una gran cantidad de cuchillas colocadas oblicuamente y otra serie de cuchillas montadas sobre la carcasa, cabe mencionar que éstas últimas son fijas.

Un diagrama de la línea de tratamiento se muestra en el esquema que a continuación aparece, con el fin de poder entender de manera general la forma de acomodo de la maquinaria dentro de una fábrica de trabajo.

MOLINOS DE FIBRAS.



Molino Triturador Fino.

El último subgrupo corresponde a todos aquellos equipos destinados a la molienda de purgas. Debido a las características especiales del material que se maneja, sólo se encuentra en el mercado un tipo de molino.

- Molino triturador en caliente. Por lo general son grandes molinos en caliente para la transformación directa del plástico fundido procedente de la salida del extrusor. Generalmente se usan durante el arranque o la marcha por inercia de instalaciones de extrusión. El material molido que cae en forma de lluvia puede volver a utilizarse directamente.

El segundo gran grupo de molinos, son aquellos clasificados de acuerdo a su construcción. La mayoría de estos molinos se encuentran basados en el montaje de una serie de cuchillas sobre una base circular (árbol) a manera de sierra circular donde el árbol se encuentra a su vez, fijo a un eje - ya sea de manera horizontal o vertical, el cual forma un soporte con la función principal de ser la guía del molino. De tal forma, que cualquiera de los molinos cumplen el funcionamiento de reducir el tamaño de partícula de cualquier pieza, auxiliándose únicamente de diferentes medios como lo pueden ser: bolas, martillos, aspas, cuchillas, etc. De esto, podemos llegar a la conclusión de que todos estos molinos sólo cambian la posición de su árbol y los instrumentos de los que se valerán para despedazar la pieza tratada.

Dentro de este gran grupo de molinos, podemos mencionar dos subclasificaciones: molinos que presentan en su estructura general cuchillas de corte y los molinos conocidos como los molinos de golpe y compresión.

Dentro de la lista correspondiente a los molinos de cuchillas de corte, podemos encontrar un sin número de equipo y maquinaria disponible en el mercado, todas ellas con características especiales y diversas pero que en conjunto cumplen con los requerimientos necesarios para poder cumplir con un excelente trabajo dentro de la molienda de materiales plásticos.

A continuación se muestra una lista correspondiente a molinos de cuchillas, donde se puede apreciar de manera general la gran diversificación de equipo y maquinaria existente para este fin. Toda ésta, se encuentra a igual rango de competitividad y hasta cierto grado rangos parecidos en cuanto al costo de las mismas.

Acompañada a esta lista de equipo y maquinaria de cuchillas se añaden los molinos de golpe y compresión, ya que las características son similares, donde lo único que varía son los medios adicionales por los cuales se lleva a cabo la operación.

MOLINOS CON CUCHILLAS DE CORTE.



Molino de discos dentados.



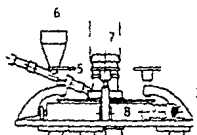
Molino de cuchillas cónico o cortante.



Molino de clavijas o espigas.

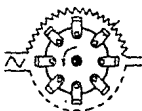


Molino de crucetas de percusión.



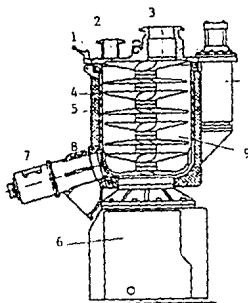
Molino de chorro.

1. Entrada de aire.
2. Anillo con toberas.
3. Espirales circulación.
4. Chorros.
5. Inyector.
6. Tolva alimentación.
7. Manguera hacia filtro.
8. Cámara de molienda.



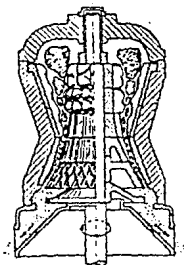
Molino de martillos.

MOLINOS DE COLPE Y COMPRESION.

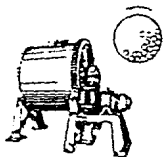


Molino centrífugo o coloidal.

1. Tapa con válvula de llenado.
2. Válvula de presión.
3. Válvula de llenado.
4. Cuba con doble pared.
5. Aislamiento.
6. Circuito de refrigeración.
7. Embolo rotativo y junta.
8. Junta inchable.
9. Hélices.

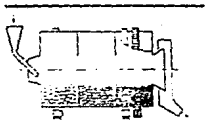


Molino de campana o cono.

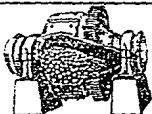


Molinos de bolas.

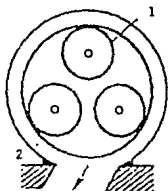
Molino de bolas sencillo.



Molino de bolas con depósito.



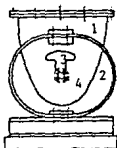
Molino de bolas en tambor cono.



Molino de anillos.

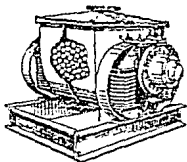
1. Rodillos.

2. Anillo.

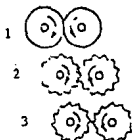


Molino de cuba oscilante.

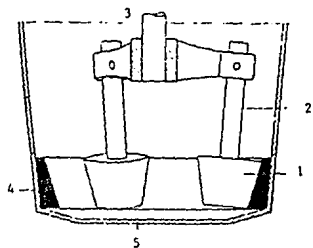
1. Artesa oscilante.
2. Eje o árbol.
3. Desequilibrios bilaterales.
4. Soporte de los resortes.



Molinos de rodillos.

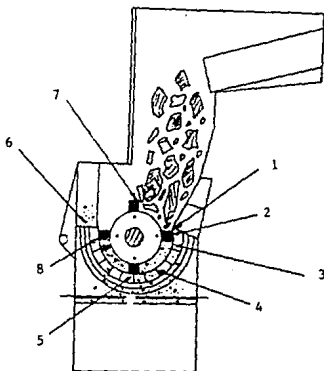


1. Rodillos lisos.
2. Rodillos con pugas.
3. Rodillos dentados.



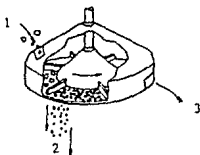
Molino pendular o Raymond.

1. Rodillos cónicos.
2. Péndulo.
3. Eje vertical.
4. Anillo cónico.
5. Plato de giro.



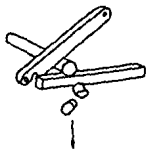
Molino de golpe y martillo.

1. Area de ruptura.
2. Plato de ruptura.
3. Yunque.
4. Barra de segmentación.
5. Molienda fina.
6. Trampa para metales.
7. Area de impacto.
8. Martillos pivotados.



Molino de raspado.

1. Entrada del material.
2. Material molido.
3. Fuga o escape.



Molino de tijera de lagarto.



Molino de discos.

1. Entrada de material.
2. Salida de material.



Tambor pulverizador.

1. Entrada de material.
2. Material de salida.
3. Rodillo de molienda.

3.3.2.3 Compactado.

Se aplica a los desperdicios de película, fibras y materiales espumados, los cuales por su baja densidad aparente requieren equipos especiales que funcionan a elevadas velocidades dando como consecuencia un aumento en la temperatura de molienda ocasionando a su vez la aglomeración del material. Los compresores se ofrecen generalmente formando parte de una instalación combinada formada por un molino antepuesto al compresor.

Por lo general al molido de este tipo de materiales, se agrega una extrusión usando una maquinaria con diseños especiales de husillo o en su defecto se usan compactadores localizados cerca de la alimentación, en algunas ocasiones se aplica un pelletizado aprovechando en calor generado durante la molienda del material para la correcta aglomeración de las partículas.

Desde tiempos remotos, las compactadoras fueron y son equipos diseñados para efectuar en forma eficiente la recuperación de fardos de películas plásticas y filamentos, generalmente de polietileno de alta y baja densidad, polipropileno en sus formas de mono y multifilamento, raffia y algunos otros materiales como las fibras ópticas de policimidas.

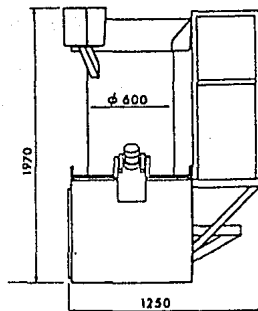
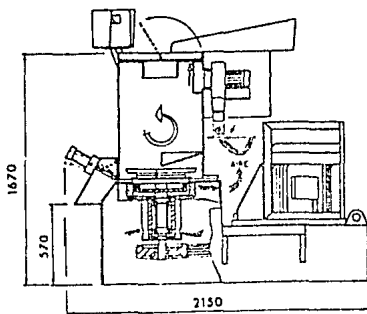
Dentro de la maquinaria dedicada a la compactación de materiales podemos encontrar dos divisiones:

- Compactadoras simples. Son aquellas que presentan un tratamiento automático de caperuzas de contracción de materiales plásticos sopla dos.

- Compactadoras de granulación. Se encuentran equipadas para manejar material seco, húmedo, pigmentado, imbrico o limpio y transfermarlo en un granulado denso y uniforme. En ocasiones el compactado con algunas modificaciones dentro de su proceso, puede llegar a sustituir los ciclos de molienda-extrusión y pelletizado. Este tipo de compactadoras se basan en el principio de premoler la película mediante cuchillas giratorias y cuchillas fijas, fabricadas en acero, por efecto de las cuchillas el material es impulsado a un movimiento circular, ofreciendo por fricción un fuerte calentamiento; una vez lograda la temperatura de semi-plasticación, se introduce una cierta cantidad de agua que por reacción química y térmica provoca un agrieta miento y solidificación del material el cual es granulado en las cuchillas.

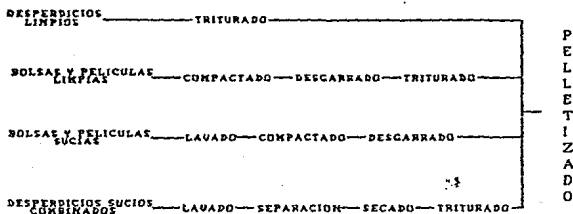
En los esquemas podemos observar estos dos tipos de compactado res explicados anteriormente.

COMPACTADORAS DE GRANULACION.



3.3.2.4 Pelletizado.

Para el pelletizado de los materiales plásticos, siempre se parte de un granulado previamente hecho, además de que, de acuerdo a las condiciones bajo las que se obtenga el material será elegido un proceso de lavado, desgarrado o compactado, por lo cuál se tiene el siguiente cuadro:



Como se puede observar, existen cinco procesos previos al pelletizado: Triturado, desgarrado, compactado, lavado y la separación. La mayoría de estos procesos ya se han mencionado y descrito en líneas anteriores, quedando exclusivamente el proceso de lavado como el faltante en definir para poder entrar de lleno a la operación de pelletizado.

En el caso del lavado, cuando los desperdicios se encuentran sucios es recomendable lavarlos porque las impurezas pueden presentar interferencias en el proceso de triturado, es por ello que a todo el material que se recicle se lava en tinas con agua y en ocasiones es necesario que el lavado sea en soluciones de sosa caústica al 15%, logrando con ello eliminar polvo, grasa o azúcares adheridos al material.

Posteriormente a cualquiera de los procesos mencionados dentro del cuadro sigue el pelletizado, que es el proceso por el cual se obtiene la materia prima a transformar ya sea en forma cilíndrica, esférica, elipsoidal, cóncava o granular. Dentro de este proceso podemos encontrar dos tipos dife-

rentes de pelletización: pelletizado en caliente y pelletizado en frío.

En el primer caso, el pelletizado en caliente, se maneja un proceso por el cual de manera directa e inmediata se realiza el corte de los filamentos al salir el dado extrusor. Se obtienen gránulos o pellets casi esféricos con un rango de 3 a 6 mm de diámetro y son preferidos por su facilidad de manejo. En este tipo de pelletizado se encuentra la maquinaria clasificada en dos tipos especiales:

- Extrusión de doble husillo. La extrusión de doble husillo es usada gracias al excelente mezclado del material y por consiguiente su homogeneidad en el producto final. Los pellets obtenidos presentan una forma casi esférica.

- Extrusión planetaria en dos pasos. Es una de las extrusiones más novedosas debido a la implantación de un cañón y husillo dispuestos de tal manera que se presentan dos pasos dentro de la misma extrusión.

En la primera etapa o paso de la extrusión, se lleva a cabo la plastificación, homogeneización y dispersión del material; todas estas son operaciones importantes en la apariencia y características del granulado final a obtener.

En la etapa final o el segundo paso de la extrusión, ya - que se ha logrado la homogeneización del material, este pasa a un cañón de husillo simple con el fin de poder transportar la masa fundida a un dado formador de filamentos donde se descarga y corta para su posterior empaque.

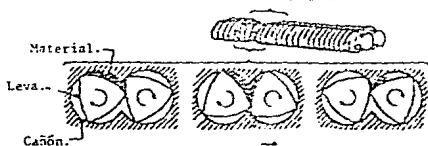
En el proceso de pelletizado, además de estos tipos de maquinaria aquí mostrados, podemos encontrar otros que cumplan con las necesidades de cada material, el mencionarlos sería inconveniente, ya que todos ellos implican la combinación de extrusora-cuchillas sin más sofisticación o complicación dentro de la operación.

Dentro de los diagramas mostrados, se ejemplifica cada uno de los tipos de maquinaria mencionados con anterioridad, de manera general y sin ultimar detalles y especificaciones profundas dentro de la materia.

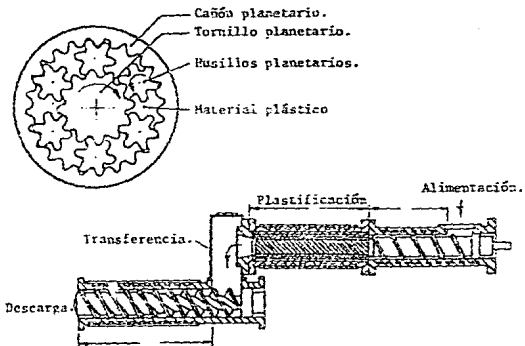
PELLETIZADO EN CALIENTE.

Extrusión de doble husillo.

Amasado.



Extrusión planetaria en dos pasos.



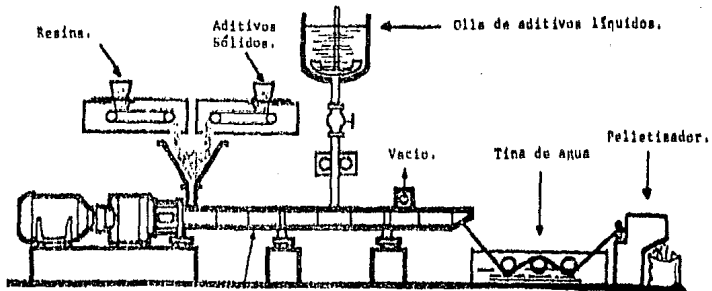
En el segundo tipo de pelletizado, el pelletizado en frío, por lo general el material es extruido para formar los filamentos, los cuales pasan a una tina de enfriamiento para posteriormente entrar a una cámara pelletizadora.

El producto final obtenido presenta una apariencia irregular - que en la mayoría de los casos es de forma cilíndrica.

Dentro del proceso, los hilos o filamentos pasan de la tina de enfriamiento a unos rodillos galvanizados o de acetate los cuales se encuentran muy próximos a las cuchillas para así poder dar la mejor uniformidad al material granulado que se piensa obtener.

Realmente el proceso no es muy diferente a una extrusión simple, la única diferencia clara es el baño de agua fría por la cuál los filamentos son pasados y de la estación que se encuentra separada para el pelletizado.

PELETTIZADO EN FRIO.



3.4 CARACTERISTICAS DE DEGRADACION EN EL RECICLADO (TERMODINAMICA).

El reciclado primario por lo general involucra el manejo de material limpio, libre de contaminantes y sin ningún problema en su procesabilidad para la producción de diversos productos plásticos. Algunos de estos materiales pueden ser directamente reprocesados mientras que otros necesitan la combinación de materia virgen para la producción de dichos compuestos en diversos rangos de tolerancia. Claramente, no todo lo que brilla es oro y el reciclado primario al igual que la gran mayoría de los procesos presenta sus serie de ventajas y desventajas. La mayoría de las veces se presentan una serie de problemas técnicos los cuáles tienen su origen en diferentes causas dependiendo tanto del material que se este usando como del proceso y producto que se quiere manufacturar. Estos problemas por lo general son: la degradación del material debido a los procesos que sufre lo cuál provoca la caída de las propiedades inherentes del material como la apariencia, resistencia química, procesabilidad y muchas de las propiedades mecánicas; también se puede provocar en caso contrario la contaminación del material en el momento de reprocesarlo y finalmente la dificultad al manejar algunas de las presentaciones especiales de los productos como las películas plásticas y algunas espumas de termoplásticos y la gran mayoría de los termofijos.

Los cambios que se presentan en las propiedades de los polímeros son causados la mayoría de las veces por el "stress" térmico que estos sufren al ser reprocesados además de que se presentan cambios en la estructura química de cada uno de ellos. Los cambios ocurridos dentro de la estructura molecular de los polímeros cuando estos son reprocesados siempre son: reducción considerable del peso molecular promedio, el aumento del peso molecular promedio debido al crack de la cadena y la formación de insaturaciones dentro de la cadena polimérica o ciclización causada principalmente por reacciones internas. La degradación térmica y termo-oxidativa junto con el rompimiento de la cadena son los factores más importantes involucrados dentro de la degradación del material al reciclarse. Un decremento en el peso molecular del polímero causado por un corte dentro de la cadena puede ocurrir al azar en áreas específicas a lo largo de la cadena, cuando la ruptura se produce en la parte final de la cadena del polímero sólo se logran observar ligeros efectos sobre las propiedades físicas del material, mientras que la evolución de componentes volátiles dentro de la cadena puede provocar reacciones secundarias que repercu

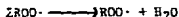
ten directamente en la procesabilidad del material.

Por otro lado, en aquellas reacciones donde se incluye el tamaño y grupos sustituyentes dentro de la cadena, cuando se reciclan se puede provocar la ciclización o formación de insaturaciones dentro de la misma, cuando estos problemas se combinan dentro de la misma cadena ocasionan el endurecimiento de la cadena molecular. En cuanto a la degradación térmica, un ejemplo típico se aprecia en la dehidrohalogenación del PVC, ya que a elevadas temperaturas el ácido clorhídrico se remueve dejando una estructura insaturada, donde el ácido funciona como catalizador y acelerador de la degradación del material.

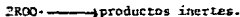
En el caso de la degradación termo-oxidativa, durante la plastificación de un material en el procesamiento del mismo es imposible evitar la presencia de oxígeno el cual es la causa de este tipo de degradación. Esta termo-oxidación puede provocar un craqueo total de la cadena o simples cortes de la misma que se ven reflejados en la dureza o suavidad del material. La participación más importante de este tipo de degradación se ve representada en las reacciones de radicales libres, la cual permite la incorporación de varias moléculas de oxígeno a la cadena:



Los hidroperóxidos formados en esta reacción son inestables a las temperaturas manejadas dentro del procesamiento de los materiales. Por lo tanto es los hidroperóxidos se descomponen formando nuevos radicales libres dentro del material:



Esta generación de nuevos radicales libres influye directamente en la curva de la velocidad de reacción y la autoaceleración de la reacción, la cual eventualmente balancea la reacción y da fin a la misma:



Algunos plásticos comerciales contienen dentro de su composición estabilizadores tales como: aminas aromáticas y fenoles ramificados los cuales capturan o remueven a los radicales libres:



La presencia de antioxidantes extiende el período de inducción en el proceso termo-oxidativo y la autoaceleración de la reacción.

Aquellos termoplásticos reforzados básicamente con fibras o algunos rellenos orgánicos contribuyen grandemente al incremento de las propiedades mecánicas del material. La degradación de estas propiedades dentro de los materiales reforzados se deben a tres factores importantes: la degradación del polímero, la degradación de la interfase polímero/refuerzo y la degradación del refuerzo o la carga dentro del polímero. La degradación que se presenta del polímero es básicamente la misma que sucede en los casos de aquellos plásticos sin reforzar, aunque en la mayoría de las veces el agente reforzador acelera la reacción de degradación. Actualmente nada se sabe acerca del efecto que se puede manifestar durante el procesamiento de este tipo de materiales ya sea en las propiedades del polímero o en la interfase formada. En la mayoría de los casos se ha considerado que el efecto es el mismo.

La efectividad de los materiales reforzados depende principalmente del rango presentado por el agente reforzador, que podría ser de las medidas del diámetro de las partículas del refuerzo. En aquellos procesos de altas temperaturas como el moldeo por extrusión y el moldeo por inyección, el agente reforzador sufre alteraciones dentro de su estructura reduciendo de esta manera el rango de medidas presentado por éste. Durante procesos prolongados donde se manejan exposiciones prolongadas del material a las temperaturas, la longitud promedio de las fibras se ve reducida de manera exponencial hasta un límite asintótico; aunque se ha considerado que los procesos no son una causa justa en la degradación de las fibras. El valor de este límite asintótico depende de las propiedades mecánicas que el material de refuerzo proporciona al plástico y de los esfuerzos térmicos y físicos que sufre dicho plástico durante el procesamiento del mismo. Una ruptura o "craqueo" del material provoca una baja en las propiedades mecánicas esperadas.

La degradación de los plásticos durante el manejo de temperaturas elevadas se puede manifestar de diversas maneras:

* Cambio en la viscosidad de la masa fundida, puede aumentar cuando se presenta un "craqueo" en la cadena o disminuir en el caso de un corte molecular de la cadena.

* Cambio en las propiedades físicas como la dureza, resistencia al impacto, maleabilidad, etc.

* Cambio en el color.

* Reducción de la resistencia química.

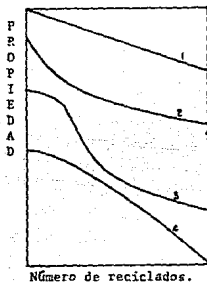
No todos los plásticos son igualmente sensibles a la degradación durante su procesamiento. La oxidación es un modo de degradación presentado en aquellos materiales de baja densidad como el polietileno, que se manifiesta en la reducción del índice de fluidez. En el caso del reciclado del polipropileno, los resultados aparentes son el aumento del índice de fluidez y la caída total de la resistencia al impacto, este material también es altamente sensible a la contaminación, cuando por descuido se contamina se vuelve un material frágil, con manchas negras, algunas marcas de quemaduras y olor. Cuando se recicla poliestireno, este material altamente sensible a la contaminación durante su reprocesamiento, causa la reducción y caída de algunas propiedades como la transparencia y el buen colorido del material.

En continuos reciclados de PVC, los estabilizadores contenidos dentro del polímero se agotan y comienza a amarillarse y emitir olores. El reprocesamiento de los acrílicos causa ralladuras en la pigmentación, sin embargo para todas aquellas aplicaciones no críticas se puede hacer un buen uso de material reciclado hasta el 100%. Las poliamidas son fácilmente reciclables aunque también presentan alta sensibilidad de contaminación y tienden a oscurecerse con varias etapas de reciclaje.

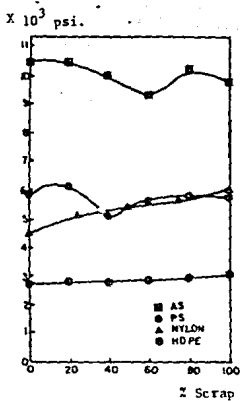
Los remolidos de ABS limpios pueden mezclarse libremente con material virgen en cualquier proporción, sin embargo una vez escogido el rango de proporción, este se tiene que mantener a lo largo de toda la producción, además de que la temperatura de producción y la capacidad de la misma puede variar ocasionalmente. La degradación presentada en el remolido de ABS se manifiesta por la caída de las propiedades físicas, particularmente en la resistencia al impacto y un oscurecimiento del material. Las resinas acetálicas son sensibles a la contaminación y se degradan cuando son expuestas a largos períodos de procesamiento, en consecuencia los homopolímeros son más sensibles que los copolímeros, usualmente se recomienda para este tipo de resinas, una proporción del 15% de remolido en combinación con material virgen.

En la gráfica mostrada a continuación se expresa de manera generalizada los cambios en las propiedades del material generados por diferentes mecanismos de degradación durante el procesamiento de los materiales. Un ejemplo de un decremento lineal se puede observar en la línea 1 a la cuál es un ejemplo tí

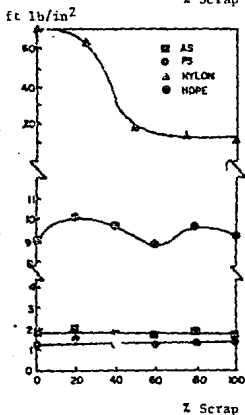
pico de la disminución en la resistencia al impacto en los policarbonatos. La curva 2 representa la variación en la resistencia al impacto de las poliamidas 6/6 reforzadas con vidrio. La curva 3 es un ejemplo claro del cambio en las propiedades en todos aquellos plásticos que contienen estabilizadores al calor. En el caso de la curva 4 se muestra el proceso de degradación que involucra la formación de productos que a su vez incrementan la degradación conforme aumentan las etapas o ciclos de reciclado.



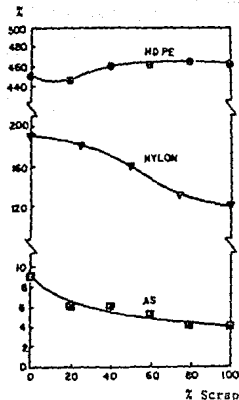
En las gráficas continuas, se muestra el efecto de baja de propiedades en diversos polímeros. Las curvas sólo representan un ciclo de reciclado, si se aplican más etapas es claro que la caída de las propiedades continuará. Las curvas también representan varios materiales con respecto a una propiedad o varias propiedades con respecto a un sólo material, ya que todos ellos reaccionan de manera diferente cuando son procesados, el tipo de proceso y las condiciones de operación también influyen de manera directa sobre las propiedades de los materiales recuperados.



Medida de la resistencia a la tensión como función del porcentaje de recuperado.



Medida de la resistencia al impacto como función del porcentaje de recuperado.



Medida de la elongación como una función del porcentaje de recuperado.

3.4.1 Modelos matemáticos de predicción en cambios de propiedades.

Un diagrama general de reciclado de plásticos se muestra a continuación, el equipo de transformación representado dentro de la línea de flujo se encarga de convertir al material consistente en una mezcla de resina virgen con una proporción de material recuperado. Dentro del proceso algunos desperdicios se producen, la mayoría de ellos son reciclados mientras que en ocasiones algo de este desecho de descarta debido a la apariencia que presentan. Después del primer ciclo de reciclaje, la corriente de producción se encuentra formada por material que ha sufrido por lo menos un tratamiento de reciclaje y en ocasiones hasta dos ciclos del mismo. La composición de la corriente de producción después del primer ciclo y en base a estas características queda definida:

$$ps = F(k + r)$$

Donde "ps" es la corriente de producción expresada en lb/hr que contiene tanto materia recuperada como productos que se están produciendo y desechos de los mismos, "F" es la alimentación expresada también en lb/hr que se encuen

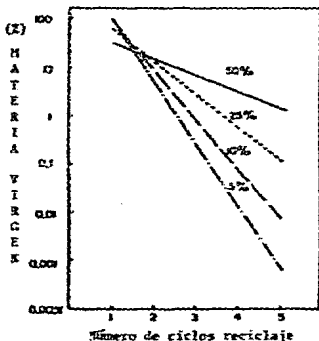
tra formada básicamente de resina virgen y recuperado, "k" es la proporción de resina virgen contenida en la alimentación total, y "r" es la proporción de material reciclado contenido en la alimentación total. Después de un segundo ciclo de reciclaje, la corriente de producción se puede representar por:

$$p_2 = F(k + r(k + r)) = F(k + kr + r^2)$$

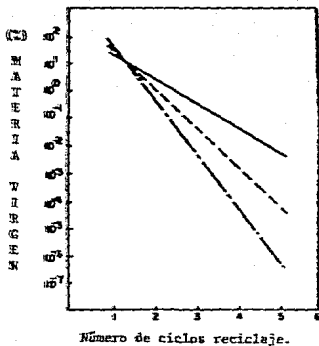
En esta fórmula "Fk" representa la porción del material el cuál ha sido sujeto a un ciclo de reciclaje, "Fkr" representa al material que ha sufrido dos ciclos de reciclaje, "Fr²" representa al material que ha sufrido tres ciclos, etc. Después de "n" ciclos de reciclaje, la composición de la corriente de producción queda de la manera como se muestra:

$$p_n = F \sum_{j=0}^{n-1} kr^j + r^n$$

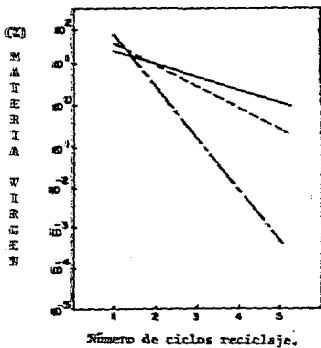
En los diagramas siguientes se muestra el porcentaje contenido dentro de un producto determinada de materia virgen en comparación con el material recuperado después de varios ciclos de reciclaje, variando la proporción desde 50 25, 10 y 5% de material recuperado, 10% de reciclado combinado con algunos de sechos y 50% de reciclado con algunos desechos. Todas estas gráficas se basan en resultados propuestos por la ecuación final arriba mencionada y cuando se reali zan interpolaciones semi-logarítmicas las líneas obtenidas son completamente rectas.



Desarrollo de la vida de un material virgen después de un determinado número de ciclos de reciclaje.



Desarrollo de la vida de un material virgen después de un determinado número de ci cios de reciclaje.



Desarrollo de la vida de un material virgen después de un determinado número de ci cios de reciclaje.

En la gráfica posterior situada a continuación se muestra el porcentaje de material original presente como una función del porcentaje de material reciclado presente en la alimentación. A una concentración del 10% de material reciclado después de cuatro pasos de reciclaje podemos observar que sólo encontramos un 0,01% del material original. Sin embargo, si la cantidad de material reciclado se incrementa hasta un 50%, la cantidad de material original o virgen se incrementa también hasta un 10% o casi éste porcentaje.

La presencia de grandes cantidades de material con una historia térmica larga afecta directamente en las propiedades del producto final. El científico Abbas ha logrado desarrollar una ecuación matemática para el cálculo del cambio en las propiedades en función del número de ciclos y el porcentaje del recuperado. Los cálculos se realizaron en base a dos casos específicos de práctica:

* Los desechos plásticos son manejados y empacados separadamente. Generalmente un porcentaje de material virgen se agrega al remolido antes de ser procesado.

* Los desechos plásticos reciclados se alimentan directamente a una máquina de moldeado por inyección para posteriormente depositarse dentro de una bolsa de empaque. Intermitentemente parte del contenido dentro de la bolsa, se mezcla con un porcentaje adecuado de resina virgen y se reprocessa.

Por cuestiones de práctica consideraremos el segundo caso primero antes de analizar el primer caso. Tomemos en cuenta que las propiedades del material obtenido en la primera bolsa se representa con P_1 . Logrando determinar que el material colectado en la segunda bolsa queda definido por:

$$P_1c + P_2(1 - c)$$

Donde "c" es el rango comprendido entre el peso del material que puede ser vendido y el peso del recuperado y " P_2 " es la propiedad del material en contrada después de dos ciclos de reciclaje. Por consiguiente, las propiedades del material contenido en la enésima bolsa serán:

$$P_1c + P_2c^n(1 - c) + P_3c(1 - c^2) + \dots + P_n(1 - c)^{n-1}$$

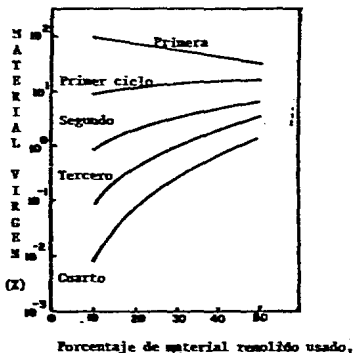
Donde la enésima bolsa se encuentra mezclada con una fracción "k" de material virgen (V_0) en la proporción de $(1 - k)/k$ en base a un estado de seguridad P_s . Si queremos definir este estado de seguridad tanto para el material como para el producto manufacturado con dicho desecho podemos definir:

$$\begin{aligned}
 P_n &= kP_0 + (1-k)(cP_1 + c(1-c)P_2 + c(1-c)^2P_3 + \dots \\
 &\quad + c(1-c)^{n-2}P_{n-1} + (1-c)^{n-1}P_n) \\
 &= kP_0 + (1-k)c \sum_{j=1}^{n-1} (1-c)^{j-1} P_j \\
 &\quad + (1-k)(1-c)^{n-1} P_n
 \end{aligned}$$

Si además consideramos que agregamos siempre una cantidad de material - virgen constante a la etapa de seguridad, esta se puede calcular:

$$P_n = kP_0 + k(1-k) \sum_{j=1}^{n-1} (1-k)^{j-1} P_j + (1-k)^n P_n$$

Si los cambios en las propiedades del material se conocen, los cambios - provocados por consiguientes ciclos de reciclaje se pueden determinar gracias a cualquiera de las dos ecuaciones y modelos matemáticos dados en líneas anteriores.



3.5 RECICLADO SECUNDARIO.

El reciclado secundario se encarga de procesar todos aquellos desechos plásticos que son inapropiados para llevar a cabo un proceso directo en equipo convencional para plásticos. A pesar de que se han desarrollado técnicas novedosas, el reciclado secundario todavía se encuentra en pañales debido a cuatro razones de peso: los desechos plásticos se encuentran levemente contaminados con materiales ajenos a los plásticos como metal y arena lo cual pone en peligro el equipo ha utilizar, varios plásticos presentan en la mezcla de desechos utilizados incompatibilidad lo cual da como consecuencia la obtención de productos con bajas propiedades mecánicas, una alimentación con las características ideales es muy difícil de conseguir y en orden de conseguir productos económicamente competitivos, se deben de tener vías de producción masivas del producto a manufacturar.

La basura plástica puede tener diversos orígenes de los cuales podemos conseguir material con excelentes características para poder ser reciclados con el equipo utilizado en el reciclado secundario. Estos orígenes de la basura plástica se encuentran catalogados dentro de cuatro categorías diferentes:

* Plásticos de postconsumo recolectados en tiraderos. Estos consisten en una mezcla de varios tipos diferentes de plásticos acompañados por elementos ajenos a la naturaleza de los mismos. En ocasiones la proporción contenida de plástico dentro de la mezcla es extremadamente pequeña que sería incosteable tratarla por los métodos ejemplificados con anterioridad.

* Plásticos de postconsumo recolectados de material fuera de especificación. La mayoría de las veces este tipo de desechos se encuentran en las producciones que no cumplen los requisitos necesarios para ser un producto 100% aceptable, como es el caso de algunos recipientes para leche y algunas botellas. Es por esto que este material es ideal para el reciclado secundario ya que por lo general esta formado por un sólo tipo de plástico y se encuentra la mayoría de las veces libre de contaminantes ajenos al plástico.

* Mezclas de desechos industriales. La alimentación necesaria muchas veces se obtiene de desechos mezclados en las industrias. Varios plásticos se presentan en la mezcla y en muchas ocasiones los agentes ajenos a los polímeros se encuentran en cantidades muy pequeñas, estas concentraciones pueden variar con el tiempo.

* Desechos industriales consistentes en un sólo tipo de plástico. -

Usualmente este tipo de desechos se encuentra contaminado con otros materiales ajenos a la naturaleza de los polímeros o la basura presenta rasgos de degradación por lo cual no es conveniente utilizar los métodos de reciclaje primario.

Desde que los productos obtenidos mediante el reciclaje secundario compiten con aquellos que requieren bajas características y bajo costo como es el caso de la madera, el reciclado secundario se ha desarrollado más en aquellas poblaciones donde la producción y manufactura de muchos productos plásticos resulta extremadamente alta y costosa. En la actualidad se han implantado tecnologías para el reciclado secundario en todo el Japón seguido por la Europa, demostrando de esta manera que diferentes técnicas se pueden aplicar para la óptima producción de artículos gracias al reciclado secundario:

- * Manejo de procesos de reprocesamiento con ligeras modificaciones presentadas en el equipo convencional de tratamiento de plásticos. Presenta una gran ventaja en poder obtener equipo hasta cierto grado barato y comercialmente existente pero la desventaja es que dentro de la producción se presentan muchos problemas y los artículos obtenidos tienen bajas propiedades.

- * Llevar a cabo el reprocesamiento de los desechos mediante el uso de equipo especializado. Las ventajas son altas velocidades de producción con productos que presentan propiedades mecánicas razonablemente aceptables, aunque la desventaja sea el alto costo de la maquinaria.

- * Modificaciones químicas dentro de la mezcla plástica. La ventaja de esto, es la manufactura de productos con excelentes propiedades mecánicas; la desventaja es que el costo de los mismos crece sin poder resolver sustancialmente los problemas que se presentan durante el procesado.

- * Uso del remolido en combinación con resina virgen. La gran ventaja es producir diversos artículos a un costo considerablemente bajo, pero la desventaja es que sólo ciertos tipos de plástico permiten aplicar este procedimiento.

- * Aplicar estos recuperados como refuerzos o rellenos dentro de los materiales vírgenes. El beneficio es el poder sustituir ciertos rellenos que resultan caros para su uso comercial en contraposición que este uso se encuentra extremadamente limitado.

- * Utilizar los materiales recuperados como la matriz del producto en combinación con algunos refuerzos y rellenos. Aquí el polímero sólo actúa como

no el punto de ligue entre el relleno o refuerzo, la mayoría de las propiedades mecánicas son proporcionadas por el refuerzo. Aquí la desventaja se presenta en las aplicaciones potenciales de la resina final.

En estos seis tipos diferentes de tratamiento listados con anterioridad, sólo dos de ellos aplican y utilizan equipo especializado, cuatro de ellos aplican la resina remolida como una estructura de sandwich en combinación con otros materiales y cinco de ellos utilizan material de desecho pulverizado como rellenos y cargas dentro de otros polímeros de manera comercial.

Realmente sería inconveniente mostrar la gama de equipo y maquinaria utilizado en el reciclado secundario, lo más importante aquí mostrado es el poder tomar en consideración todos y cada uno de los casos por los cuáles no se puede aplicar los métodos convencionales conocidos en el reciclado primario.

1.6 RECICLADO TERCIARIO.

El reciclado terciario conocido también como la recuperación de químicos a partir de desechos plásticos involucra básicamente el proceso de pirólisis.

El proceso de pirólisis se encuentra definido como la descomposición química y física de materiales orgánicos a causa del calor dentro de una atmósfera libre o deficiente en contenido de oxígeno. La pirólisis no es un proceso nuevo, se ha usado muchas veces en el pasado para la manufactura de muchos derivados provenientes de la madera como lo son el metanol, carbón de leña, ácido acético y aguarrás. Gracias a la pirólisis es posible obtener productos químicos de todos aquellos desechos donde por lo general se aplicaba la incineración y el relleno sanitario. Estos productos generados por la pirólisis tienen aplicación comercial dentro de los químicos o como combustible en diferentes áreas. Las siguientes cláusulas son algunas de las ventajas proporcionadas por la pirólisis:

* La mayoría de los desperdicios y desechos pueden ser tratados mediante este método de manera económica y sin muchas complicaciones.

* El volumen del material puede ser reducido en un 90% o más.

* El proceso de pirólisis se controla de tal manera que no causa, una contaminación ambiental por desprendimiento de gases tóxicos.

* Gracias a que el proceso no requiere de espacios muy grandes, una planta de pirólisis puede situarse dentro de las ciudades, por lo cual se manejan costos bajos en cuanto al transporte de materia prima.

* El proceso se encuentra considerado como un productor de energía neta.

* La energía que se produce presenta formas convencionales de manejo: gas, aceite y carbón.

* El proceso puede ser manejado de tal manera que cualquier producto químico puede ser obtenido mediante la pirólisis.

* Desde que se han implantado procesos de oxidación durante la pirólisis de un material, restos metálicos pueden ser recuperados una vez que la pirólisis ha concluido.

El proceso de pirólisis en contraposición con la incineración, es un proceso de reacciones endotérmicas donde el calor producido se aplica en la destilación de los componentes volátiles. El investigador Lamp ha logrado seguir las reacciones que se llevan a cabo durante la pirólisis concluyendo:

Reacción principal:

Materia orgánica \longrightarrow gases + líquidos + carbón.

Reacciones secundarias:

$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{calor}$

$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO} + \text{H}_2 + \text{calor}$

$\text{C} + \text{CO}_2 \longrightarrow 2\text{CO} - \text{calor}$

$\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{calor}$

$\text{C} + 2\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{calor}.$

Como se muestra, los productos de la pirólisis son por lo general gases, líquidos y carbón. Mientras que los residuos sólidos siempre presentan la forma de sólidos ligeros, cascajos de carbón o cenizas del mismo que puede ser trabajado posteriormente para recuperar algunas tapas para botellas o ensamblajes de las mismas.

La pirólisis ofrece un método adecuado y económicamente competitivo dentro del reciclado de plásticos, sobre todo para la recuperación de combustibles y algunos químicos contenidos dentro de los desechos plásticos.

3.7 RECICLADO CUATERNARIO.

El reciclado cuaternario, conocido como recuperación de energía proveniente de los desechos plásticos implica todos aquellos procesos donde se encuentra involucrada la incineración de la materia prima.

Este proceso, el de la incineración, se encuentra definido como la reducción de desechos combustibles a residuos inertes mediante una combustión controlada a altas temperaturas. La razón principal de la incineración es la reducción del volumen de los desechos. La incineración es capaz de reducir el peso de los desechos de un 80 hasta un 90%. Los residuos como se mencionó son completamente inertes y pueden ser aplicados para rellenos sanitarios. Debido al alto crecimiento actual de la demanda y costos de energía, se ha dado más importancia a la posibilidad de aprovechar al energía generada de la combustión de los desechos tanto industriales como todos aquellos encontrados en los tiraderos. La recuperación de energía puede tomar diversas rutas dependiendo básicamente de las presentaciones y formas en que se tienen los desechos:

- * Generación de vapor por la incineración de la basura. El calor generado durante la incineración de los desechos produce vapor, el cuál puede ser potencialmente aprovechado en las instalaciones de aire acondicionado para los edificios, o algún proceso industrial donde se requiera producir electricidad.

- * Aprovechamiento del calor para intercambiadores. Los desechos pueden ser utilizados como excelentes sustitutos de aquellos combustibles que se encuentran agotados dentro de algunos rehervidores.

- * En ocasiones la pirólisis funciona como un muy buen proceso para la producción de energía.

- * Manejo de procesos de hidrogenación. Los desechos pueden ser convertidos a aceites pesados bajo condiciones de presión y en la presencia de monóxido de carbono y vapor.

- * Digestión anaerobia. Dentro de este proceso, la porción orgánica de los desechos se compone en ausencia de oxígeno. El metano que se produce es un excelente sustituto del gas natural.

Así pues, como consecuencia final del reciclado podemos aplicar los procesos de incineración para recuperar algunas fuentes de energía y aprovechar hasta sus últimas consecuencias los desechos plásticos.

CAPITULO IV:

RECICLADO MEDIANTE MOLIENDA CRIOGENICA.

CAPITULO IV

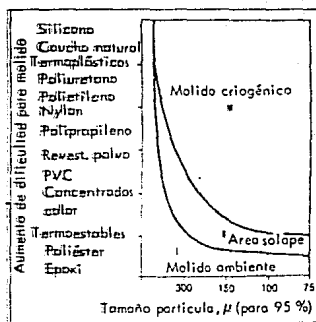
RECICLAJO MEDIANTE MOLIENDA CRIOGENICA.

4.1 INTRODUCCION.

El problema del procesamiento de los desperdicios y desechos en general se ha visto incrementado en varios aspectos en los últimos años, como consecuencia del incremento de la población y a su vez el aumento en la producción de diversos artículos de consumo popular y de consumo especializado. Este problema se vuelve especialmente agudo con el numeroso crecimiento de los desechos generados por partes automotrices y varios ensambles contenidos dentro de los mismos. Ya que hoy en día ha aumentado el índice de sustitución de la mayoría de artículos que antes se manufacturaban en otros materiales, por plástico, la contaminación y exceso de los mismos cada día se vuelve un problema que está fuera de nuestro alcance.

Las industrias de plásticos y caucho están creando una mayor necesidad del triturado o molido criogénico debido al uso de polímeros más resistentes que cumplen exigencias específicas dentro de nuevas aplicaciones, donde se requieren tamaños de partículas más pequeños que los tamaños ordinarios. El proceso criogénico se utiliza ampliamente hoy en día, para conseguir tamaños de partículas que se adapten bien a revestimientos con polvo, moldeo rotacional, mezclas secas, soluciones de polímeros y reciclado de trozos y desechos de polímeros. Las ventajas de la molienda criogénica deben de compensar los costos extras que suponen el refrigerante criogénico no necesario en la molienda convencional a temperatura ambiental. Ambos métodos tienen áreas específicas de competitividad económica, aunque por lo general, estas áreas se llegan a solapar entre sí.

Dichas áreas de competitividad se muestran en la gráfica siguiente donde podemos observar de manera general algunos de los polímeros reciclados mediante la molienda convencional y su comparación con la molienda criogénica.



4.2 GENERALIDADES.

Dentro de la molienda criogénica un factor importante a considerar es el calor que se genera cuando se muele un polímero como resultado de la fricción contada y acción de impacto contra la cámara de molienda o corte ya mencionada en el capítulo anterior. Cuando menor es el tamaño de partículas requerido o más resistente es el polímero, más calor se genera y menores cantidades se producen. En algunos casos, el calor generado puede ser tan grande que puede dar lugar a la fusión del polímero sin mencionar el 'stress' térmico al que se expone el material lo cual provoca aumento en el ciclo de reciclajes y caída de las propiedades del material. Para reducir eficazmente el tamaño de los polímeros este calor debe ser separado. Los sistemas convencionales de molienda lo consiguen mediante el manejo de grandes volúmenes de aire ambiental o mecánicamente refrigerado, mientras que en el caso de la molienda criogénica se emplean un compuesto refrigerante conocido como líquido criogénico.

Este líquido o compuesto criogénico es un gas licuado que tiene una temperatura de ebullición inferior a los -73°C . Algunos líquidos criogénicos comunes son el argón, oxígeno, helio, hidrógeno, anhídrido carbónico y nitrógeno.

no. Debido a factores de seguridad, costo y disponibilidad, el anhídrido carbónico líquido y el nitrógeno líquido son los únicos fluidos apropiados para el molido criogénico.

El anhídrido carbónico líquido (LCO_2) y la nieve carbónica se utilizaron para refrigeración en el pasado, pero presentan varias limitaciones en comparación con el nitrógeno líquido (LIN), como se puede observar y comparar en la tabla comparativa siguiente:

PROPIEDADES.	LIN	LCO_2
Punto de ebullición ($^{\circ}\text{C}$)	-195	-78
Valor refrigeración (Kcal/ Kg)	91.3	77
Presión de almacenamiento (Kg/cm^2)	1.75	21

El anhídrido carbónico generalmente se almacena líquido a 21 Kg/cm^2 y -17°C mientras que el nitrógeno líquido se almacena a -195°C ligeramente por encima de la presión atmosférica. A presión atmosférica el anhídrido carbónico líquido desprende una combinación de gas frío y "nieve" sólida, mientras que el nitrógeno líquido se evapora dando origen a un gas frío exclusivamente. La transferencia de calor entre el anhídrido carbónico sólido (-78°C) y el material a moler se lleva a cabo muy lentamente.

El nitrógeno líquido contacta con el material de alimentación de manera inmediata y a -78°C proporciona una transferencia de calor más rápida que en el caso del otro material refrigerante. La mayoría de los polímeros más resistentes presentan fragilidad por debajo de los -78°C , y, por tanto, requieren de un enfriamiento con nitrógeno líquido. Debido a que el nitrógeno líquido tiene varias y muy diversas ventajas respecto al anhídrido carbónico, es el compuesto refrigerante que más frecuentemente se emplea en el molido criogénico. El nitrógeno tanto en forma líquida como gaseosa, se maneja con un alto índice de seguridad dentro de la industria. Seguidamente, se exponen algunas de las consideraciones básicas sobre seguridad que deben ser conocidas y revisadas de acuerdo con el suministrador del gas antes de utilizar el nitrógeno líquido:

* El sistema deberá estar diseñado para evitar el contacto directo de LIN con la piel o cualquier otra parte del cuerpo.

* Debido a que el nitrógeno es inerte, se requiere de una apropiada ventilación para asegurar que el oxígeno del área de trabajo no disminuya por debajo del nivel mínimo requerido para el mantenimiento de la vida por lo general es del 19%.

4.3 METODOS DE MOLIDO CRIOGENICO.

Para polímeros relativamente fáciles de moler se emplea una pequeña cantidad de nitrógeno líquido con el objeto de separar el calor debido al molido. Dentro de la molienda criogénica, la mayoría de los procesos involucrados se basan en la fragilización del material de desecho mediante un baño de éste en algún compuesto criogénico, posteriormente el material ya debilitado se tritura y separa por algún método convencional de separación, aunque en la mayoría de las veces, estos sistemas ya se encuentran acoplados dentro de la maquinaria y equipo de molienda criogénica.

Todos y cada uno de los métodos existentes de molienda criogénica se basan primordialmente en la forma y presentación del material a moler, ya que dependiendo de esto, se puede diseñar la maquinaria óptima y de mejores características. De acuerdo con estos razonamientos podemos encontrar diversos métodos de reciclado de plásticos mediante la molienda criogénica.

4.3.1 Molienda criogénica de piezas grandes y/o completas.

Este es un proceso criogénico para la desintegración total de materiales plásticos provenientes de mazarotas, coladas, piezas fuera de especificación, desechos limpios libres de cualquier tipo de ensamble o contaminación y cualquier polímero que presente las características mencionadas. Es necesario decir, que este método también se puede generalizar al tratamiento de otro tipo de materiales como lo son algunos metales, desperdicios alimenticios, aceros y basura. El proceso aprovecha la pérdida de la resistencia al impacto de los polímeros causada por la refrigeración de éstos a bajas y extremas tempe

raturas, dentro del proceso se maneja la gran ventaja de recuperación en cuanto al poder de refrigeración transferido al material una vez que este se encuentra molido, con esta modificación en comparación a los métodos convencionales creamos ciclos de refrigeración y provocamos el ahorro considerable del material refrigerante utilizado durante la molienda criogénica de los materiales plásticos tratados.

Por otro lado, el proceso se puede manejar de manera continua donde el material de desecho en cualquiera de sus presentaciones ya mencionadas, se alimenta a contracorriente con un fluido refrigerante que podría ser aire o nitrógeno (LIN) en la etapa de pre-enfriamiento para posteriormente pasar a una etapa de congelamiento criogénico al 100% donde el material es sometido a temperaturas extremadamente bajas; una vez que el material se encuentra congelado y hasta cierto grado fragilizado, se fragmenta mediante martillos, trituradores mecánicos, molinos rotatorios o en su defecto cualquier otro tipo de molienda física. En este proceso continuo, el material ya fragmentado se circula a una etapa de post-enfriamiento a contracorriente dentro de un intercambiador de calor donde a su vez está circulando el fluido refrigerante con el fin de poder recuperar la relación de enfriamiento transmitida al material en etapas anteriores. El material de desecho ya tratado durante esta etapa puede ser separado gracias al uso de un separador magnético donde se obtienen todos aquellos componentes ferrosos existentes dentro del remolido, como la mayoría de las veces el material a tratar viene limpio, sólo es necesario el uso de mamparas, rejas o decantadores de aire o hidráulicos para llevar la separación adecuada de los componentes constitutivos del recuperado. En cuanto al fluido de refrigeración este es usado directamente a través de ciclos cerrados de refrigeración, donde una vez que recupera el poder congelante en la etapa de post-enfriamiento entra a la etapa de criogenización, donde se adiciona parte de fluido refrigerante nueva para poder recuperar aquellas pérdidas existentes dentro del proceso, ya adicionado el nuevo fluido, la mezcla se transporta a la etapa de pre-enfriamiento para así lograr cerrar el ciclo completo - regresando a la etapa inicial del proceso. Dentro de la descripción del equipo a utilizar podremos ver el necesario uso de una etapa de compresión a alta presión y una expansión a bajas temperaturas para el fluido refrigerante, además de aclarar como aquellos residuos de compuesto refrigerante provenientes de la etapa de pre-enfriamiento no se transportan a la etapa de compresión

sino que directamente se mandan a la etapa de post-enfriamiento, donde será usado en la recuperación del poder congelante transferido inicialmente al material molido.

Como se mencionó anteriormente, dentro del proceso se trata establecer la economía sustancial en la molienda de materiales de desecho plástico gracias a la compactación y facilidad de transporte de los mismos.

El proceso contempla esencialmente la carga del material a moler a una zona de criogenización, donde el material se congela a temperaturas extremadamente bajas, hasta lograr reducir el mínimo la resistencia al impacto de los materiales. Una vez que se ha llevado a cabo dicha criogenización, todo el material se desintegra mecánicamente para posteriormente recuperar el poder congelante utilizado durante la criogenización del mismo. En algunas ocasiones dentro del proceso se puede implementar un baño líquido dentro del refrigerante en la etapa de enfriamiento, logrando de esta manera una reducción considerable en la cantidad a utilizar de líquido criogénico dentro del expansor.

La mayoría de los materiales tratados son productos de baja densidad y en ocasiones se manejan algunos metales que contaminan el material. Las temperaturas criogénicas alcanzadas se encuentran dentro del rango de -45°C y menores. La mayoría de los plásticos y hasta los considerados como polímeros de ingeniería, a la temperatura de -130°C prácticamente no presentan resistencia al impacto por lo que son fácilmente fracturables. En el pasado, materiales de esta naturaleza eran cortados en pequeños fragmentos por cortadores rotatorios o cuchillas de barra como es el caso de algunas guillotinas. En cambio, gracias a la criogenización, ahora pueden ser triturados o desgarrados separadamente mediante el uso de cilindros rotatorios compuestos de elementos dentados. Ya sea que se aplique un sistema de trituración o un sistema de desgarrado, de cualquier modo se tiene la ventaja de aprovechar las propiedades magnéticas, físicas y de densidad de éstos para lograr una separación adecuada en el caso de que existan mezclas de polímeros y hasta algunas aleaciones.

En el caso de la molienda convencional, debido a la alta resistencia al impacto de la basura plástica, es necesario la aplicación de grandes cantidades de energía para lograr una molienda uniforme, en el caso de la molienda criogénica se optimiza de manera considerable estos consumos de energía gracias a la previa fragilización del material.

Dentro de la molienda criogénica se maneja siempre la fragilización de los materiales a tratar, los cuales son sensibles a bajas temperaturas a tienen un bajo estado de ductibilidad. Cuando este estado se presenta se dice que se ha alcanzado la temperatura de no ductibilidad (NDT). Muchos materiales de desecho se encuentran constituidos por mezclas de otros materiales que presentan entre sí diferencia de ductibilidades, esto ayuda a la adecuada separación gracias a la criogenización. Como un ejemplo de este tipo de separación podemos citar el hule vulcanizado utilizado en la manufactura de llantas este material se vuelve extremadamente frágil a los -63°C , proporcionando un excelente recuperado fácilmente separable de los ensambles metálicos o cuerdas insertadas a lo largo del cuerpo de la llanta, ya que la mayoría de los metales usados mantienen su ductibilidad hasta los -128°C o temperaturas menores.

Como muestra de la molienda criogénica de materiales completos, piezas de tamaño regular, etc., se listan una serie de esquemas los cuales incrementan su complejidad. así podemos apreciar como de un simple proceso de criogenización llegamos a equipos extremadamente sofisticados que mejoran la eficiencia del proceso y el manejo del material reciclado.

En el primer esquema, el proceso inicial base, no mantiene una recuperación del poder refrigerante, esto implica un gasto extra en fluido de refrigeración. Este fluido de criogenización, por lo general nitrógeno líquido a una temperatura aproximada de -195°C , valor cercano a la temperatura de rocío, se encuentra depositado en un tanque criogénico recubierto a su vez por un material aislante. Este fluido se transporta al interior del tanque de baño mediante una tubería especial con una entrada aislada. El material de desecho se carga dentro del tanque para recibir un baño criogénico, bajando su temperatura hasta aproximadamente -128°C ; posteriormente el material ya congelado se remueve hacia un triturador para su molienda. Dentro de las cantidades necesarias de fluido criogénico a utilizar, estas varían de acuerdo al tipo de desecho que se está tratando, como puede ser un valor específico para materiales termoplásticos, puede ser otro muy diferente para aquellos materiales termofijos. Para poder determinar dichos valores es necesario realizar balances de materia y básicamente balances de energía.

Cuando los materiales que se estan criogenizando son termoplásticos, la cantidad necesaria de fluido refrigerante puede variar demasiado debido a las diferencias existentes en las propiedades de un polímero con respecto a otro. Basicamente, el balance se realiza debido a la resistencia al impacto que los termoplásticos presentan, realizando un balance promedio, donde se toma en cuenta aquellos polímeros que tienen los más altos rangos de resistencia al impacto, podemos concluir:

TERMOPLASTICOS.

Calor de extracción de termoplásticos. (26°C a -128°C)	410 BTU/lb.
Calor de vaporización nitrógeno líquido.	86 BTU/lb.
Libras de nitrógeno/libra de plástico.	410/86 = 4.767

Con esto concluimos, que es necesario utilizar aproximadamente 4.767 libras de nitrógeno líquido para criogenizar adecuadamente aquellos materiales plásticos que presentan los más altos índices de resistencia al impacto. Mientras que la energía requerida para pasar al nitrógeno líquido a su estado gaseoso aproximadamente a 26°C, es de 14.7 psias de presión, con lo cual obtenemos una eficiencia termodinámica del 30%. De manera que para poder fragmentar una tonelada de plástico por hora es necesario manejar 260 HP, tal como se muestra en el esquema base, que a su vez es el más primitivo de los arreglos dentro del área de molienda criogénica.

TERMOFIJOS.

Calor de extracción de termofijos. (26°C a -128°C)	77 BTU/lb.
Calor de vaporización nitrógeno líquido.	86 BTU/lb.
Libras de nitrógeno/libra de plástico.	77/86 = 0.895

Mientras que los requerimientos mencionados en el párrafo anterior son los mismos, debido al diseño general del equipo y la maquinaria, podemos observar como las cantidades necesarias de fluido criogénico varían considerablemente, siendo para el caso de los termofijos y tomando en cuenta que se manejan valores promedio altos, la cantidad de nitrógeno líquido necesaria aproximadamente es de 0.895 libras.

Cuando se habla de elastómeros, estos también presentan características especiales, por lo cual en el uso de refrigerante tenemos:

ELASTOMEROS.

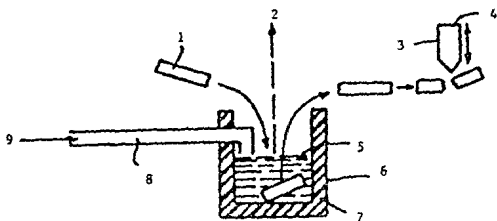
Calor de extracción de elastómeros. (25°C a -128°C)	95 BTU/lb.
--	------------

Calor de vaporización de nitrógeno líquido.	86 BTU/lb.
---	------------

Libras de nitrógeno/libra de plástico.	95/86 = 1.104
--	---------------

En el caso de los elastómeros, debido a que son materiales más densos que los termofijos, podemos apreciar que la cantidad necesaria de fluido criogénico se ve incrementada, llegando a ser de 1.104 libras de nitrógeno líquido aproximadamente.

MOLIENDA CRIOGENICA SIMPLE.



1. Material alimentado (26°C).
2. Salida de gas (-195°C).
3. Triturador. (4).
5. Líquido criogénico (-195°C).
6. Tanque de baño.
7. Aislamiento del tanque.
8. Tubería de entrada para líquido.
9. Adición de fluido criogénico.

En la figura siguiente podemos apreciar la aparición de elementos nuevos dentro de la operación básica, todo aplicado a un uso más efectivo de la refrigeración proporcionada por el fluido criogénico. La modificación se aprecia principalmente en el manejo del gas efluente y el material de desecho, los cuáles entran a un conducto protegido por cualquier material aislante, este conducto se encuentra conectado directamente con el baño criogénico. Un transportador se encarga de alimentar los desechos plásticos dentro del tanque para baño además de aparecer una cortina o entrada de protección a manera de sello se encuentra ubicada en la parte final del baño para evitar así la pérdida considerable de fluido criogénico debida al contacto de éste con el desecho plástico que se dirige a la etapa de pulverización. Las temperaturas manejadas dentro de este nuevo proceso son las mismas que el anterior. Aunque claro está, que el desecho se enfría en un tunel de salida continua con el nitrógeno vaporizado de salida proveniente del tanque de criogenización y que a la vez sufre una expansión dentro del tubo o conducto. La eficiencia de este nuevo proceso se ve mejorada gracias al manejo de un doble poder refrigerante, es decir la combinación tanto del material criogénico de entrada como el gas de salida, por lo que la cantidad requerida de nitrógeno líquido se reduce considerablemente. De acuerdo a los nuevos balances realizados podemos concluir:

TERMOPLÁSTICOS.

Calor de extracción de termoplásticos. (25°C a -128°C)	410 BTU/lb.
Calor del nitrógeno líquido + Calor del nitrógeno vaporizado.	184 BTU/lb.
Libras de nitrógeno/libra de plástico.	410/184 = 2.228

En comparación con el proceso base, el ahorro de fluido criogénico supera el 100% de beneficio, gracias al aprovechamiento del gas de salida dentro del proceso. La potencia práctica requerida para producir la fragmentación de una tonelada de plástico por hora también se ve reducida a aproximadamente 122 HP.

Claro está que estos beneficios también se ven reflejados en el tratamiento de los termofijos y los elastómeros de la manera como sigue:

TERMOFIJOS.

Calor de extracción de termofijos.
(26°C a -128°C) 77 BTU/lb.

Calor del nitrógeno líquido +
Calor del nitrógeno vaporizado. 184 BTU/lb.

Libras de nitrógeno/libra de plástico. $77/184 = 0.418$

En el caso de los termofijos, ahora la cantidad requerida de nitrógeno líquido se reduce a 0.418 libras por cada libra de plástico a tratar.

ELASTOMEROS.

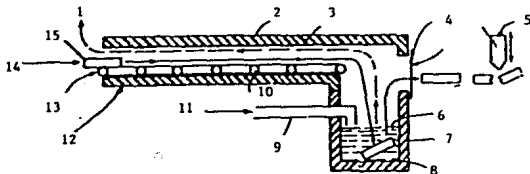
Calor de extracción de elastómeros.
(26°C a -128°C) 95 BTU/lb.

Calor del nitrógeno líquido +
Calor del nitrógeno vaporizado. 184 BTU/lb.

Libras de nitrógeno/libra de plástico. $95/184 = 0.516$

Aquí, ahora la cantidad necesaria de nitrógeno se encuentra estimada -
aproximadamente en 0.516 libras por cada libra de plástico manejada.

MOLIENDA CRIOGENICA Y RECUPERACION.



1. Salida de gas (15°C).
2. Tunel de entrada para material.
3. Aislamiento del tunel.
4. Puerta de salida.
5. Triturador.
6. Líquido criogénico (-195°C).
7. Tanque de baño.
8. Aislamiento del tanque.
9. Tubería de entrada para líquido.
10. Banda de transporte.
11. Adición de fluido criogénico.
12. Ducto de recuperación.
13. Inicio de transporte.
14. Entrada de material.
15. Material de desecho.

Modificaciones subsiguientes se realizan al proceso con el fin de mejorar la eficiencia del mismo. El esquema siguiente muestra nuevas y novedosas modificaciones. La refrigeración proveniente del gas criogénico evaporado se recupera dentro del tunel de entrada y la refrigeración transferida al material ya molido también se recupera gracias a un conducto especial de recuperación. Este nuevo agregado de poder refrigerante se suma a la recuperación original ayudando a proporcionar aquellas pérdidas existentes en algunas fugas del proceso. En algunas ocasiones cuando estas pérdidas son extremadamente grandes, líquido criogénico se adiciona a la cantidad establecida para compensar la efectividad de la operación.

Dentro de este nuevo proceso, el ducto reciclador del gas se encuentra en combinación con un ventilador para mejorar la remoción del gas proveniente del ducto originalmente de salida y dirigido hacia el tunel de recuperación encargado de recoger todo el poder refrigerante. Una cortina de protección permite la descarga del material ya congelado mientras dentro del tubo de recuperación se mantienen las temperaturas criogénicas manejadas a lo largo del proceso. Las temperaturas finales del material congelado son las mismas que en los dos procesos anteriores. Además se adiciona un intercambiador de calor para de alguna manera manejar un pre-enfriamiento gracias a la remoción del frío contenido en el material de salida. Dentro del balance energético, cambian un poco los términos solicitados, debido a que se tiene un ciclo criogénico donde el poder refrigerante se recupera,

TERMOPLÁSTICOS.

Calor de extracción neto de termoplásticos. (Intercambio = 0 a 32 BTU/lb)	32 BTU/lb.
Calor latente (Se asume aproximadamente 2)	2 BTU/lb.
Suma total	34 BTU/lb.

Calor del nitrógeno líquido +	
Calor del nitrógeno vaporizado.	184 BTU/lb.

Libras de nitrógeno/libra de plástico.	$34/184 = 0.184$
--	------------------

Dentro del proceso podemos observar el incremento excesivo en el beneficio al manejar ciclos de recuperación, reduciendo la cantidad necesaria de nitrógeno líquido hasta 0.184 libras por libra de plástico a tratar. La potencia práctica requerida para el manejo de una tonelada de material por hora también se reduce hasta 19 HP.

TERMOFIJOS.

Calor de extracción neto de termofijos.	
(Intercambio = 0 a 6 BTU/lb)	6 BTU/lb.

Calor latente	
(Se asume aproximadamente 2)	2 BTU/lb.

Suma total.	8 BTU/lb.
-------------	-----------

Calor del nitrógeno líquido +	
Calor del nitrógeno vaporizado.	184 BTU/lb.

Libras de nitrógeno/libra de plástico.	$8/184 = 0.043$
--	-----------------

Para el caso de los termofijos, la cantidad necesaria de fluido criogénico se ve reducida a un máximo gracias a los nuevos implantes dentro del proceso.

ELASTOMEROS.

Calor de extracción neto de elastómeros. (Intercambio = 0 a 8 BTU/lb)	8 BTU/lb.
--	-----------

Calor latente (Se asume aproximadamente 2)	2 BTU/lb.
---	-----------

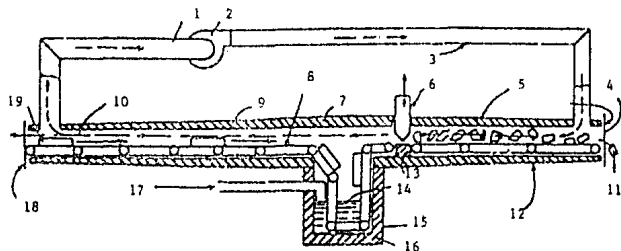
Suma total	10 BTU/lb.
------------	------------

Calor del nitrógeno líquido + Calor del nitrógeno vaporizado.	184 BTU/lb.
--	-------------

Libras de nitrógeno/libra de plástico.	$10/184 = 0.054$
--	------------------

Mientras que finalmente para los elastómeros, la cantidad necesaria de fluido refrigerante se reduce a 0.054 libras por libra de material a moler.

MOLIENDA CRIOGENICA CICLICA.



- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Ducto de reciclado. | 11. Salida de material (15°C). |
| 2. Seplador. | 12. Ducto de recuperación. |
| 3. Ducto de trabajo y reciclo. | 13. Yunque de golpeo. |
| 4. Puerta de salida. | 14. Líquido criogénico (-195°C). |
| 5. Tunnel de recuperación. | 15. Tanque de baño. |
| 6. Triturador. | 16. Aislamiento del tanque. |
| 7. Aislamiento del tunnel. | 17. Adición de fluido criogénico. |
| 8. Banda de transporte. | 18. Cortina de seguridad. |
| 9. Tunnel de entrada. | 19. Material de desecho. |
| 10. Salida de gas (15°C). | |

Una modificación del proceso cíclico mostrado anteriormente se presenta a continuación en el esquema siguiente, donde se usa un expansor a temperaturas bajas llamado turbo-expansor. Esta expansión se lleva a cabo tanto en el gas como en la mezcla de gas-líquido encontrada dentro del ducto de reciclado criogénico. La temperatura de expansión se encuentra determinada por los cambios ocurridos en la presión de entrada y la condición actual del gas a la entrada del turbo-expansor. El turbo-expansor utilizado, se encuentra conectado a un compresor que recibe parte del fluido refrigerante proveniente de la tubería de trabajo. Además a este nuevo equipo implantado sobre el proceso anterior es necesario mencionar que se manejan tanques de cámara molecular con el fin de remover cualquier traza formada de dióxido de carbono o vapor de agua que podrían obstruir el trabajo del turbo-expansor. El compresor se encuentra accionado por un motor que también sirve de parte motriz para el turbo-expansor, además de estar conectado a un refrigerador de gas para proporcionar la temperatura más baja posible manejada a nivel gaseoso y mejorar la eficiencia del proceso.

En este proceso se manejan ciclos de fluido, donde el gas de refrigeración se recicla de la zona de criogenización a contracorriente junto con el plástico de desecho que se transporta a la zona de pre-enfriamiento y después poder regresar al ducto de trabajo. Dentro de éste ducto, una porción de fluido refrigerante caliente puede ser transferido al compresor y el turbo-expansor para devolverle sus características criogénicas y poderlo regresar a la zona de criogenización. El ducto de trabajo optativamente podría ser eliminado, con el uso especial de un soplador y poder alimentar el fluido directamente dentro del separador ciclónico para el control de polvo.

Los balances se basan en el proceso anterior, donde se manejan valores netos, de tal forma que logramos establecer:

TERMOPLÁSTICOS.

Calor de extracción neto de termoplásticos +
Calor latente.

34 BTU/lb.

Calor contenido en nitrógeno.
(-195°C a 16°C)

94 BTU/lb.

Libras de nitrógeno/libra de plástico.

34/94 = 0.361

El beneficio no es tan grande como en el caso anterior, pero sin embargo la eficiencia del proceso se ve incrementada gracias al manejo de ciclos de refrigeración. Mientras que la potencia requerida para la fragmentación de una tonelada de plástico por hora, gracias al mejoramiento de la eficiencia se reduce a 17 HP.

TERMOPLASTICOS.

Calor de extracción neto de termofijos +
Calor latente. 8 BTU/lb.

Calor contenido en nitrógeno.
(-195°C a 16°C) 94 BTU/lb.

Libras de nitrógeno/libra de plástico. 8/94 = 0.085

Para los termofijos, la cantidad necesaria de nitrógeno líquido es aproximadamente de 0.085 libras por libra de material plástico a reciclar.

ELASTOMEROS.

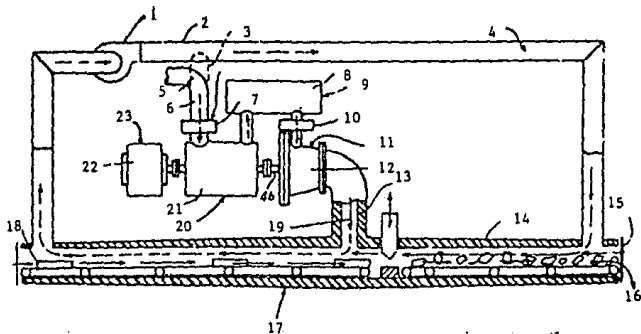
Calor de extracción neto de elastómeros +
Calor latente. 10 BTU/lb.

Calor contenido en nitrógeno.
(-195°C a 16°C) 94 BTU/lb.

Libras de nitrógeno/libra de plástico. 10/94 = 0.106

Finalmente en el caso de los elastómeros, la cantidad requerida de fluido criogénico es aproximadamente de 0.106 libras por libra de plásticos a tratar.

MOLIENDA CRIOGÉNICA CON TURBO-EXPANSOR.



- | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Soplador. | 13. Conducto de entrada. |
| 2. Ducto de reciclado. | 14. Tunnel de recuperación. |
| 3. Conducto de fluido reciclado. | 15. Puerta de salida. |
| 4. Ducto de trabajo y reciclo. | 16. Salida de material (15°C). |
| 5. Entrada de aire. | 17. Zona de criogenización. |
| 6. Entrada. | 18. Material de desecho. |
| 7. Limpiador. | 19. Gas recuperado (-195°C). |
| 8. Refrigerador auxiliar. | 20. Compresor. |
| 9. Carcaza del refrigerador. | 21. Carcaza del compresor. |
| 10. Válvula de paso. | 22. Motor. |
| 11. Turbo-expansor. | 23. Potencia requerida en el proceso. |
| 12. Expansor. | |

Cabe mencionar y aclarar que en cualquiera de los casos anteriormente descritos, siempre es necesario realizar pruebas preliminares para la determinación del punto de fragilidad que el material tiene a bajas temperaturas. De esta manera logramos obtener la temperatura de máxima ductibilidad (MDT). Se hace incapie en el estudio adecuado de cada material a tratar mediante la molienda criogénica debido a que existen una gran diversidad de materiales y cada uno de ellos tienen diferentes puntos de fragilidad, dependiendo claramente de la composición de cada uno de éstos y de la forma y espesor de las piezas a tratar.

Varios cambios y modificaciones se pueden listar dentro del proceso básico, todo con el fin último de mejorar las condiciones de operación y aprovechar al máximo las potencialidades productivas que el proceso representa, aun que también es necesario decir, que después de haber mostrado las modificaciones más importantes, pocas posibilidades existentes aparecen para mejorar la eficiencia de este tipo de molienda.

4.3.2 Molienda criogénica de piezas ensambladas con metales.

En ocasiones los desechos plásticos no provienen exclusivamente de aquellos desechos industriales que hasta cierto grado nos presentan un material relativamente limpio, sino por el contrario muchos de éstos desechos tienen dentro de su forma física, ensambles metálicos, los cuales limitan la molienda de estos por los procesos ya conocidos de molienda criogénica. Para este tipo especial de desechos, se aplica un proceso nuevo basado en el uso de pre-enfriador de nitrógeno líquido conectado a un molino de martillo constituido por un barril vibratorio que funciona como separador, además de aplicar las propiedades magnéticas de los ensambles metálicos contenidos dentro de la pieza o piezas plásticas que estén reciclado.

Algunos materiales de desperdicio, como las botellas plásticas, presentan partes metálicas acopladas al cuerpo de la botella. En el pasado este tipo de productos requerían de un equipo muy sofisticado, de costo muy alto y que además la eficiencia de la operación de reciclado representaba una gran dificultad para la separación adecuada de estos metales acoplados al plástico, con lo cual el proceso se volvía impráctico y muy caro. Generalmente, en la mayoría de los casos, estos ensambles metálicos se encuentran íntimamente li-

gados entre sí, lo cuál provoca el incremento en la dificultad de poder tra - tar por medios convencionales éste tipo de productos,

Antes de haber implantado la molienda criogénica en este tipo de ma - teriales, en el pasado, la separación de estas piezas involucraba un molido i nicial de los componentes, para posteriormente separar mediante procesos mag - néticos todos los desperdicios metálicos contenidos dentro del remolido, pero desgraciadamente, durante la molienda convencional de las piezas, se producían partículas muy finas de metal contaminando de este modo el remolido plástico producido. Por esta razón, y observando las grandes ventajas proporcionadas - por la molienda criogénica se creó un nuevo método para el tratamiento adecua - do de las piezas ensambladas con metales, mejorando así la calidad del produc - to recuperado, además de obtener ahorros considerables en el consumo energéti - co.

Dentro del esquema proporcionado, se puede apreciar el proceso des - glosado durante la molienda y separación de las piezas plásticas ensambladas con elementos metálicos.

Para este método de tratamiento, debemos mencionar el uso inicial - de un pre-enfriador dentro del cuál los materiales de desecho son alimentados a través de una tolva para poder ser enfriados previamente por el nitrógeno - el cuál se esprea dentro del enfriador gracias al uso de un espreador o atomi - zador de diseño especial. Este pre-enfriador utilizado dentro del proceso es de fácil uso u adquisición, ya que se encuentra en existencia en diversas com - pañías tal es como: Air Products y Chemical Inc. como compañías líderes den - tro del ramo, aunque les sigue muy de cerca Union Carbide. Por otro lado, como es costumbre, dependiendo del tipo de plástico y de los ensambles metálicos son las temperaturas que se manejan dentro del pre-enfriamiento, aunque por - lo general se encuentran oscilando entre -100°C y -160°C , claro está que la mayoría de las veces se recomienda realizar pruebas preliminares para determi - nar la temperatura adecuada a la cual el plástico se vuelve lo suficientemen - te frágil para poder ser fragmentado sin problema. Cabe mencionar la necesi - dad de las pruebas preliminares para la determinación de la temperatura ideal de operación, ya que en base a esta, se realiza el balance de materia para así especificar la cantidad exacta de nitrógeno líquido, aunque por lo general un parámetro adecuado y que siempre ejemplifica de manera práctica el uso de nitrógeno, se menciona en 0.3 libras de nitrógeno por libra de material de de - secho.

Una vez que las piezas han sido pre-enfriadas dentro del enfriador ya mencionado, estas son transportadas a un molino de martillo, que mediante agitación y craqueo, logra fragmentar las piezas hasta la liberación parcial de los ensambles metálicos. Este molino de martillo no se ha diseñado para una molienda absoluta de las piezas, sino por el contrario el fragmentado de éstas es tan simple que provoca el mínimo daño a los ensambles metálicos, lo cuál ayuda considerablemente a la separación de estos, ya que en todo los casos estos ensambles se logran obtener en piezas completas. Gracias a la pre-via sensibilización del material plástico contenido dentro del scrap y a la agitación provocada por el molino, se logra una separación completa y efectiva de los dos compuestos principales del material de desecho, además de que se logra obtener una homogeneidad en el tamaño de remolido plástico previo. Este tipo de molinos, donde se maneja simultáneamente dos operaciones, los podemos encontrar distribuidos por la compañía Micro Pulverizing Machinery Product.

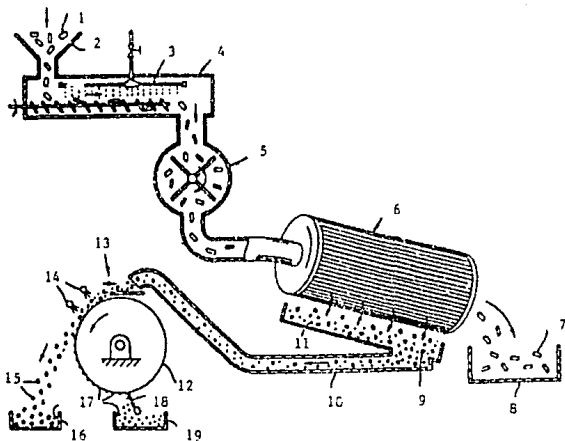
Seguida a esta fragmentación primaria, el material ya triturado pasa a un barril vibracional, donde el material molido junto con aquellas partículas finas de metal que se hayan logrado producir, son separadas de todas las partes metálicas de tamaño grande en comparación con el molido plástico. Esta separación se lleva a cabo mediante el uso de mamparas o rejas, cuerdas o varillas depositadas dentro del barril y por las cuales corre el material fragmentado, mientras que las piezas grandes de metal son transportadas hasta el final del barril a una salida de material donde los espera un depósito destinado a la recolección de este tipo de scrap metálico. La mayoría del equipo utilizado para la manufactura de estos barriles vibracionales se encuentra proporcionado por la compañía Triple S Products.

Ya realizada la separación tanto de las piezas grandes de metal como del molido plástico combinado con aquellas partículas metálicas producidas durante la molienda primaria, se transfieren mediante una banda transportadora a un separador eléctrico de alta tensión para una segunda separación donde todas aquellas partículas finas de metal finalmente son separadas del scrap plástico molido. Este separador secundario se encuentra constituido esencialmente por un rotor conectado a tierra provisto de uno o más electrodos, cada uno de ellos encargado de proporcionar descargas eléctricas al material de entrada situado en el rotor. Esta nueva separación se basa en la conductividad eléctrica de los componentes manejados dentro del "scrap" molido, es decir, to-

das aquellas partículas que tienen una conductividad eléctrica pobre como es el caso de los plásticos, asumen una carga específica y son atraídos hacia — las paredes del rotor; mientras que todas aquellas partículas que tienen una conductividad eléctrica alta como es el caso los metales, adquieren una carga contraria a la adquirida por los plásticos, siendo atraídas de esta manera hacia las paredes externas del rotor. Todas estas partículas metálicas adheridas a las paredes externas del rotor, son transportadas mediante una banda aérea a un segundo depósito especial destinado a todas aquellas partes finas de metal producidas mediante la molienda, mientras que las partículas plásticas — adheridas al rotor son arrastradas a lo largo del rotor hasta encontrarse con un cepillo encargado de separar estas del rotor y ser depositadas finalmente en un tercer depósito. este tipo de separadores de alta tensión se encuentran disponibles en la compañía Carpco, Inc.

Esta descripción general y específica del proceso es la más adecuada para entender de manera general el procedimiento a seguir para la separación de todos aquellos desechos ensamblados con piezas metálicas relativamente grandes. Es necesario hacer notar que todo este proceso y la maquinaria utilizada deberá encontrarse aislada de cualquier corriente fuerte de aire ambiental, con el fin último de evitar cualquier muestra de condensación presentada en la mezcla del metal con el plástico ya enfriados, ya que de presentar se este fenómeno, la separación se dificulta hasta tal grado que en ocasiones resulta imposible continuar con el procedimiento. Este aislamiento también — nos ayuda a el ahorro de nitrógeno líquido utilizado, ya que el gas formado — durante la criogenización puede correr sin ningún peligro de pérdida a lo largo de todo el proceso con lo cuál podemos colocar algún ciclo de reciclado de gas, además de poder mantener las temperaturas bajas solicitadas para la eficiencia adecuada de la operación.

MOLIENDA CRIOGENICA DE PIEZAS ENSAMBLADAS CON METALES.



1. Material de desecho.
2. Tolva de alimentación.
3. Esparador.
4. Pre-enfriador.
5. Molino de martillo.
6. Barril vibracional.
7. Ensamblés metálicos.
8. Depósito de metales.
9. Piezas plásticas.
10. Banda de transporte.
11. Material separado.
12. Rotor separador.
13. Separador.
14. Electrodo.
15. Restos metálicos.
16. Depósito de metales.
17. Plástico molido.
18. Cepillo de separación.
19. Depósito de plástico.

4.3.3 Molienda criogénica de termofijos y elastómeros.

En el medio de los plásticos existen materiales que presentan características elásticas o tienen una estructura química tan entrecruzada que sería difícil reblandecerlos para formar nuevos compuestos una vez que han cumplido con su tarea principal, entre estos tipos de materiales encontramos a los termofijos y los elastómeros; los primeros imposibles de reblandecer para formar nuevas composiciones ya que causaría la descomposición del polímero mientras que los segundos presentan tales características de elasticidad que se dificultaría una molienda normal. Gracias al manejo de temperaturas relativamente bajas, estos materiales son extremadamente frágiles, con lo cual la molienda de los mismos se vuelve relativamente fácil además de obtener un considerable ahorro de energía. Dentro de este proceso también podemos realizar el uso de materiales plásticos de cualquier naturaleza donde la necesidad de un tamaño de partícula extremadamente bajo es requerido, ya que la diferencia principal de este proceso en comparación con los anteriores radica en la obtención de un tamaño de partícula extremadamente bajo además de beneficiar el tratamiento de los termofijos y elastómeros.

Un término nuevo se implementa dentro de este proceso, aislamiento térmico que implica también un equipo y maquinaria específico, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso y reducir los consumos de líquido criogénico.

Por lo general, tanto los mecanismos de molienda como el enfriamiento se encuentran encaquetados o aislados y sólo mantienen comunicación con el exterior mediante una serie de cortinas protectores que facilitan la entrada del material al sistema de molienda criogénica, además ayudan al flujo libre de los gases formados tanto en el interior como en el exterior del sistema.

Este nuevo proceso involucra una operación de tamizado para poder llevar un control de calidad en las partículas finales obtenidas en la molienda del material, para que todas aquellas partículas que salgan fuera de la especificación establecida puedan ser retornadas al molino y logren alcanzar la medida de grano requerido. Por otro lado, los tamices ayudan a evitar aglutinamientos del material ya pulverizado causado por la pérdida del poder frigorífico proporcionado al material.

Intentando establecer grandes perspectivas a futuro dentro de la molienda de termofijos y buscando incrementar el campo de los remolidos de es -

te tipo de materiales, este nuevo proceso intenta prevenir todas aquellas contrapresiones provocadas por la evaporación del nitrógeno, en todos y cada uno de los sitios por los cuales se introdujo de acuerdo a las cantidades requeridas y las temperaturas manejadas para el material específico a tratar. Debido a que es bien conocido, que un litro de nitrógeno líquido aproximadamente produce 0.7 cm^3 de gas a la temperatura ambiente y la presión atmosférica.

Debido a que se maneja un sistema aislado al 100%, el molino utilizado si cumple con un diseño especial, básicamente se encuentra especificado - dentro de los molinos de alta velocidad que además es periférica localizada - en rangos que van desde 80 hasta 120 m/seg ; por lo general se utilizan molinos de carácter centrífugo con un sólo soporte, en particular dicho soporte se encuentra montado a una de las paredes del recubrimiento o encaquetado del sistema, de manera que los cojinetes de soporte no se encuentren en contacto con las temperaturas criogénicas manejadas dentro del sistema, mientras que en la parte exterior se encuentra una polea de seguridad sujeta al rotor del motor. La mayoría de las partes constituyentes del motor se encuentran manufacturadas en acero inoxidable, especialmente las partes localizadas en la alta rotación y todas aquellos elementos estacionarios que se encuentran en contacto directo con el material a moler.

Finalmente, el diseño del motor y la maquinaria en movimiento son de dimensiones relativamente grandes y se encuentran localizados fuera del encaquetado. En particular, como se menciona líneas arriba, el motor del molino se encuentra ubicado fuera del aislamiento del sistema.

Por otro lado, de acuerdo con especificaciones de la maquinaria, la presión del gas fuera del sistema se puede controlar mediante equipo convencional, como es el uso de válvulas o cualquier sistema parecido, también mediante una simple variación de peso en el material alimentado en la tolva con el fin específico de mantener un control en la resistencia de fricción del flujo de salida del gas.

En el primer dibujo propuesto, podemos apreciar una vista esquemática del sistema, donde se ha realizado un corte sagital del sistema completo - ya aislado del exterior.

De acuerdo a este primer esquema, como ya mencionamos con anterioridad, el sistema se encuentra constituido primeramente por un encaquetado, donde las paredes periféricas se encuentran conformadas por dos partes, las cuales pueden ser metal en la parte exterior e interior y a manera de sandwich -

podemos encontrar aprisionado el segundo material aislante,

Dentro del cercado se encuentra adaptada una tolva para la recepción del material de desecho mediante una abertura adaptada a la tolva, donde también podemos localizar la válvula de control tanto de la alimentación del material como de la salida del gas criogénico. Esta tolva se encarga de descargarse directamente el material dentro del molino, el cuál presenta una entrada cónica a manera de un embudo, una vez transportado el material al interior del motor, éste busca inmediatamente el interior del mismo y poder comenzar de ésta manera el proceso de molienda.

Para poder entender el funcionamiento del molino, es necesario mostrar el segundo esquema, donde podemos apreciar una vista seccional del mismo acompañado del motor montado sobre la pared del aislamiento.

El molino utilizado consta de una barra centrífuga de molienda que junto con un disco rotatorio se encargan de hacer girar las cuchillas rápidamente a una velocidad periférica de aproximadamente 100 m/seg. Estas cuchillas oscilan a su vez entre una serie de cuchillas estacionarias sujetadas a un disco también estacionario localizado exactamente enfrente del ya mencionado disco rotatorio. Tanto los discos como las cuchillas se encuentran fabricados de acero inoxidable, con el fin de que estos puedan soportar las bajas temperaturas que se manejan a lo largo de la molienda. El disco rotatorio entra en movimiento gracias a una flecha o eje localizado en el extremo opuesto sujetado a su vez por la polea que está montada en la parte externa del sistema. Esta flecha o eje se encuentra sujetado por dos cojinetes localizados dentro del material aislante, evitando que estén en contacto directo con las bajas temperaturas que se requirieran en el proceso ni las temperaturas situadas en el exterior del sistema.

El nitrógeno líquido se introduce en la tolva del molino a través de una tubería especial, la cuál no se muestra en el dibujo, hasta la succión del material, mientras que el gas que se logra formar durante la molienda logra salir gracias al ducto ubicado debajo del molino. De esta manera la molienda se lleva de manera simultánea a la refrigeración del material con lo cual evitamos pérdidas en la capacidad refrigerante y uniformizamos la molienda del material.

La salida del molino se encuentra conectada con un transportador de tolva por el cuál el material ya molido se transporta hacia el área de tamiza

do, donde una vez seleccionado el material que cumple con las características solicitadas, éste se descarga en un contenedor de salida, para que todas aquellas partículas que se encuentran fuera de especificación pasen o sean transferidas a un contenedor especial, el cual se encargaría de volver a transferir - éstas partículas a un nuevo molido.

El material que si cumple con los requerimientos especificados, pasa a través de una válvula para controlar la descarga del mismo. Mientras que por otro lado, el material recirculado al molino, se recibe primeramente en un depósito para posteriormente ser transportado ya sea mecánicamente o neumáticamente por un elevador hacia una boquilla de entrada al molino.

La nube de nitrógeno que se forma dentro de la cámara aislada debido a la inserción continua de líquido criogénico se encarga de expulsar cualquier presencia de aire atmosférico. Es claro observar que la presión de ésta nube de nitrógeno es uniforme dentro de todo el sistema, aunque para cualquier indicio de excedentes, se utilizan válvulas calibradoras localizadas en una - compuerta calibradora, balanceadas de acuerdo a cualquier variación existente del material introducido en su peso. El nitrógeno líquido introducido dentro del molino, inmediatamente después de lograr la transferencia frigorífica al material, se transforma en la nube gaseosa ya mencionada, para posteriormente circular a lo largo del sistema hasta la tolva de entrada donde cruza por la válvula para regular la cantidad usada al igual que su velocidad.

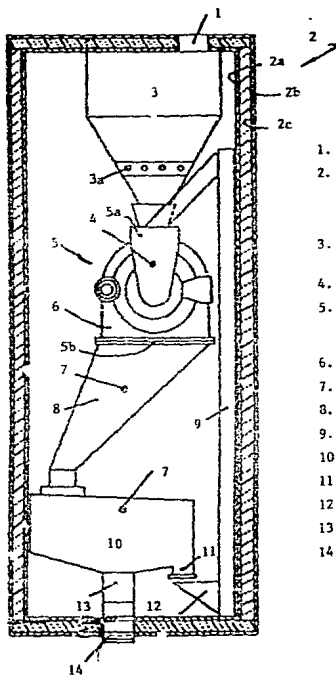
La temperatura del sistema, también se debe de controlar, ya que resulta innecesario enfriar más de la cuenta a los polímeros que se están trabajando, este control se lleva a cabo mediante el uso de una serie de termopares y registradores de temperatura colocados a lo largo de la estructura del molino.

Durante la operación, es necesario chequear continuamente que el material entre por completo dentro de la apertura siguiendo más o menos el patrón proporcionado por la tolva, molienda, boquilla, ramificador y descarga, todo - localizado dentro de un cerco o encaquetado, para evitar cualquier obstrucción que se pudiera producir durante el funcionamiento del equipo. Como se - mencionó anteriormente, el nitrógeno líquido se introduce por el embudo del - molino directamente sobre el material y dentro del molino, para así poder proporcionar el adecuado y correcto proceso de molienda criogénica. El gas que - se forma durante la molienda, proporciona una resistencia a contrapresión en-

tre el material de molienda y las aperturas tanto de entrada como de salida -
permitiendo de esta manera que el gas fluya libremente a través de todo el -
sistema, creando una atmósfera frigorífica que rodea todos y cada uno de los
equipos utilizados en la molienda. Gracias a esta atmósfera frigorífica produ-
cida dentro del sistema, no se aprecia absorción de calor ni mucho menos emi-
sión de calor por parte del equipo, ya que éste también se encuentra sujeto a
bajas temperaturas, aprovechándose así al 100% el efecto de vaporización del
nitrógeno utilizado.

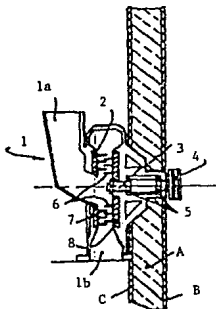
El proceso aquí descrito, como en la mayoría de los otros, no presen-
ta un camino limitado de tratamiento, sino por el contrario, también es suscep-
tible de cambios, tanto físicos como estructurales, es decir, que en cuanto a
la alimentación del material, en vez de usar el equipo mencionado, podemos ap-
licar bandas transportadoras de tornillo, elevadores o cualquier otro tipo -
físico de alimentación; otro tipo de tolvas, entradas de embudo y boquillas -
tanto de forma como de tamaño. Es más, el manejo de tamizadores también se pue-
de modificar por cualquier tipo de medidor gravimétrico conocido y aplicado -
especialmente a las áreas de granulometría y separación de partículas.

MOLIENDA CRIOGENICA DE TERMOPLIJOS Y ELASTOMEROS.



1. Entrada al sistema.
2. Encaquetado.
- 2a. Pared interior.
- 2b. Pared exterior.
- 2c. Material aislante.
3. Tolva de alineación.
- 3a. Salidas de gas.
4. Entrada de nitrógeno.
5. Molino.
- 5a. Entrada de seguridad.
- 5b. Salida de líquido.
6. Termopares.
7. Entradas y salidas seguridad
8. Tolva de transporte.
9. Elevador neumático.
10. Etapa de selección.
11. Descarga.
12. Receptor de material.
13. Descarga de material.
14. Salida del sistema.

MOLINO.



1. Molino.
- 1a. Entrada de seguridad y de material.
- 1b. Salida de líquido y descarga.
2. Disco estacionario.
3. Flecha.
4. Poleo de rotación.
5. Cojinetes.
6. Barras de corte.
7. Barras de corte estacionarias.
8. Disco de rotación.
- A. Material aislante.
- B. Pared externa.
- C. Pared Interna.

4.3.4 Molienda criogénica de hules y fibras plásticas.

Desechos de hule vulcanizado y sin vulcanizar y la gran mayoría de las fibras plásticas pueden ser reciclados mediante los procedimientos criogénicos. Debido a las propiedades y características especiales de los hules y - las fibras, se implementan procesos de flotación gaseosa durante la molienda de los materiales, con el fin principal de lograr buenos resultados en la separación de los componentes además de una clasificación del tamaño de partícula obtenido a lo largo de la molienda. El triturador o molino trabaja de tal manera que ayuda a incrementar el área residual de las partículas fibrosas, - para beneficiar tanto la molienda y separación de las mismas. Este procedimiento se amplía satisfactoriamente al molido de las mezclas y aleaciones plásticas debido al uso de operaciones de flotación durante la molienda.

Cuando se realiza una molienda convencional de este tipo de productos, el resultado es un material fragmentado comprimido de hule o plástico, - que la mayoría de las veces resulta contaminado con otros compuestos ajenos - a la estructura principal del polímero, además de formaciones protuberantes y algunos conglomerados debido a la alta sensibilidad de este tipo de materiales a formar aglomeraciones con ligeros excesos de temperatura y combinaciones especiales con otros materiales.

De acuerdo con los datos anteriores, el propósito buscado al crear un nuevo sistema de reciclado mediante métodos criogénicos, es el de poder segregar, moler y separar cualquier hule vulcanizado, cualquier mezcla polimérica, cualquier aleación y hasta cualquier tipo de fibra plástica que se encuentra en la mayoría de las veces unida o aliada a otros componentes. Este método se basa principalmente en una serie de principios por los cuales es posible la separación de los productos mencionados en líneas anteriores:

* Se plantea la reducción de tamaño de por lo menos uno de los componentes constitutivos de la mezcla o aleación, en caso de existir dicha mezcla.

* Se manija un continuo movimiento de las partículas reducidas mediante una fluidización en una corriente de gas, ésta corriente de gas tiene una velocidad predeterminada, de tal manera que logra el movimiento de las partículas del primer componente ya molido, mientras que las partículas del - segundo componente y terceros, en el caso de existir, no se mueve o prácticamente su movimiento es nulo.

* Se manejan tamices durante la etapa final de la operación para así proporcionar una clasificación y selección del tamaño de partícula obtenido durante la molienda.

El proceso de manera general se encuentra constituido por un tambor que paralelamente muestra una carga y una descarga simultáneas, adaptado de tal manera que en su interior se encuentra contenido líquido criogénico.

Posterior a este tambor, se tiene una banda transportadora del material tanto a la carga como a la descarga, para lograr una inmersión parcial y en ocasiones total del desecho dentro del líquido criogénico.

Además como un ahorro considerable del líquido criogénico utilizado se manejan ciclos de refrigeración para poder reutilizar éste, en posteriores baños criogénicos.

Debido a la complejidad del material tratado a lo largo de la operación, se encuentran implementados baños posteriores con sus respectivos métodos de separación, con el fin de lograr la adecuada molienda y separación de cada uno de los elementos formadores de la mezcla en el caso de existir esta, y en el caso de tener sólo un compuesto, pues este sigue la misma ruta simplificando sólo algunas de las etapas de separación.

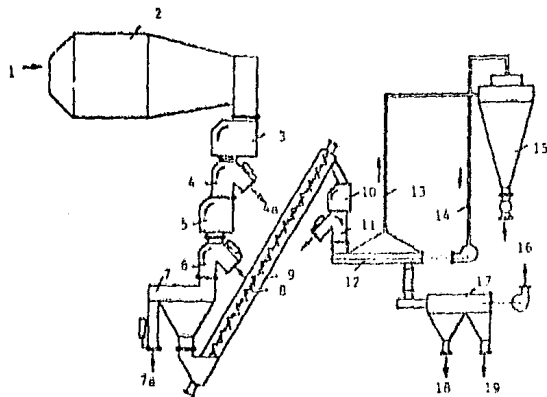
Para mostrar esta explicación general del proceso, se adjunta un diagrama global del proceso utilizado para la molienda-criogénica de los productos descritos anteriormente.

De acuerdo con el diagrama general, y si tomamos en cuenta el tratamiento de una llanta, la cuál esta constituida por hule vulcanizado y algunos alambres metálicos que forman el cuerpo de la misma, o en su defecto alguna aleación binaria, podemos describir el proceso de la siguiente forma.

El material a tratar se alimenta primero a una estación de inmersión criogénica, conformada por un tunel, el cuál contiene en su interior una cantidad adecuada de líquido criogénico para un baño completo del desecho con este líquido. Mientras es sumergido dentro del fluido criogénico, simultáneamente se transporta a lo largo del tunel hasta el final del mismo, gracias a la rápida reducción de temperatura proporcionada al material, se evita la formación de aglomeraciones y aglutinamientos que se pudieran provocar dentro del desecho.

Una vez que el material ha sido congelado y fragilizado ya situado al final del tambor, se transfiere a un molino de impacto criogénico, este molino se diseña de manera similar a todos los molinos de impacto convenciona

MOLIENDA CRIOGENICA DE HULSA Y FIBRAS PLASTICAS.



1. Alimentación de material.
2. Tunnel de inmersión.
3. Molino de impacto.
4. Separador magnético.
- 4a. Separación primaria.
5. Molino secundario.
6. Separador secundario.
7. Separador de plástico.
8. Elevador de tornillo.
9. Ducto de gas criogénico.
10. Molino de grano fino.
11. Separador magnético.
12. Aerador.
13. Línea de transporte.
14. Nitrógeno reciclado.
15. Ciclón.
16. Recuperación de material.
17. Separador de plástico.
- 18 y 19. Material recuperado.

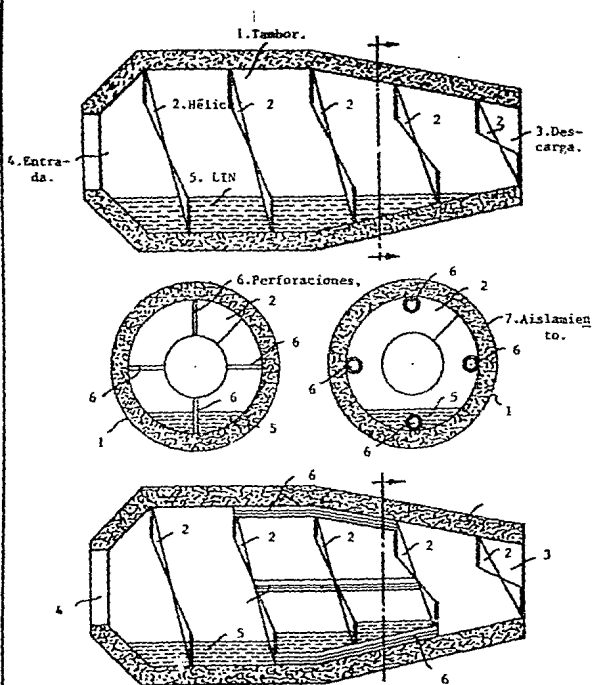
les usados para moler rocas, con la diferencia de que en este caso deberá de soportar bajas temperaturas. Un promedio acertado de éstas bajas temperaturas se encuentra determinado en -70°C y -195°C . Por otro lado, otra de las diferencias marcadas del molino, es que la entrada no se encuentra acoplada a una mampara, sino que la entrada se encuentra de manera vertical acoplada a la parte final del tambor, además de que los espacios entre las bolas o elementos cortantes es demasiado grande en comparación con los otros molinos. Gracias a estas modificaciones podemos triturar grandes piezas de desecho sin ningún contratiempo. El hecho de realizar diseños especiales de molinos para este proceso no es una situación al azar, sino por el contrario, se han realizado dichos diseños con el fin de poder crear las condiciones óptima de operación, como el hecho de poder crear un diferencial de gravedad entre los diferentes materiales incluido en la mezcla, con lo cuál la molienda de los componentes proporciona un tamaño diferente de partícula para cada componente, formando así un diferencial de tamaño entre componente y componente.

Para poder entender esta primera etapa del proceso se muestran los diagramas explicativos tanto del tambor aplicado al baño criogénico, como del flujo del material y el movimiento que este sigue dentro del molino.

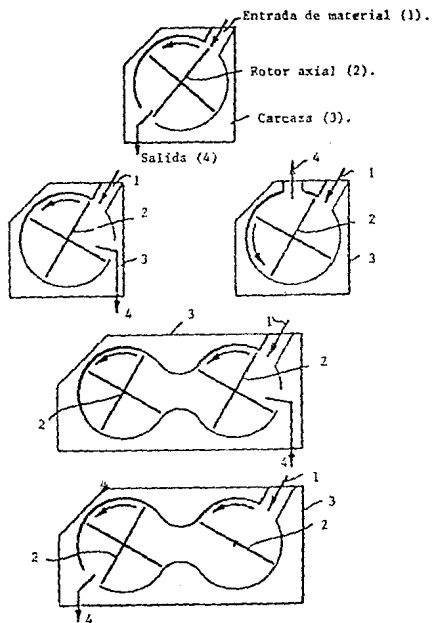
En el caso del primer esquema, el equipo de inmersión criogénica consta de un tambor adecuado de tal manera que suministra una rotación axial dentro del cuál el líquido criogénico, nitrógeno, se encuentra depositado. La forma física de este tambor por lo general es pancuda o convexa abombada, la sección central del mismo, es preferentemente cilíndrica con remates inclinados en reducción, tal como se puede apreciar. La rotación axial del tambor se deberá de encontrar inclinada con respecto a la horizontal en 0 a 30° , mientras que la salida o descarga se encuentra a un nivel superior que la entrada del tambor. Dentro del cuerpo del tambor, se tiene un recubrimiento aislante con el fin de mantener la temperatura adecuada del baño criogénico. Adicionalmente a esto, dentro del tambor se ubica una hélice transportadora para el material que se encuentra dentro del mismo y así lograr que el desecho contenido dentro del cuerpo del mismo, sea transferido de la parte inicial hasta la parte final, además de realizarse una serie de perforaciones radiales a lo largo de todo el tambor con el fin de poder hacer efecto de vaso comunicante y mantener así, el nivel adecuado de fluido refrigerante.

En el caso específico del segundo diagrama, podemos apreciar una se

TANQUE DE INMERSION CRIOGENICA.



ARREGLOS DEL MOLINO.



rie de caminos que el material sigue a lo largo y ancho del molino.

Cada uno de los dibujos muestra los rotores axiales contenidos en los molinos de martillo y de impacto. Es necesario hacer incapie, que cada mo lino que se use dentro del proceso deberá estar aislado del exterior mediante materiales destinados a esta función específica, además de que no se encuentren provistos por algún tornillo que funcione como flecha del molino y el mo tor.

Una vez que el material ha sido molido, este se transporta hacia un separador magnético para separar mediante un rotor magnético aquellos elementos metálicos contenidos en las llantas o si existiera algún compuesto ferroso contenido en la mezcla o aleación, en la mayoría de los casos, aproximadamente entre el 70 y 90% de este tipo de residuos son removidos del material molido.

Posteriormente, el producto obtenido de esta separación primaria, se transporta a un molino secundario criogénico, que se encarga además de uni formizar el tamaño de partícula del primer molido a aproximadamente 15 μ , lo grar la primera separación de materiales plásticos, ya que el diseño del mo lino es tal, que logra vencer aquel material que presenta la densidad más pequeña, que por lo general es la del material que sufrió la primera molienda. De esta manera, logramos obtener un remolido compuesto por dos tamaños diferentes de partícula, una fina y otra extremadamente gruesa en comparación con el molido que ha sufrido dos etapas de molienda.

Este nuevo recuperado, pasa a un segundo separador magnético, donde cualquier resto metálico que no haya sido removido en la primera etapa de separación, sea separado por completo en la segunda y así, nuestro producto se encuentre libre de cualquier contaminante ajeno a la naturaleza plástica.

Los sistemas de conexión entre cada uno de los equipos mencionados anteriormente, se encuentran convenientemente a diferentes niveles de manera que se aprovecha el fenómeno gravitacional para mejorar las alimentaciones a cada uno de los equipos. Por cuestiones del sistema y debido a que se intenta aprovechar dicho fenómeno, en este momento el producto obtenido se eleva al siguiente equipo mediante un elevador de tornillo cubierto por una carcasa llena de nitrógeno gaseoso, para así lograr mantener una atmósfera criogénica a lo largo del proceso.

Una vez que el material ha sido elevado a la siguiente etapa, se introduce a un molino de grano fino de tipo convencional, implantado con dos fines específicos:

* Reducir las partículas del material primario a las características establecidas.

* Realizar un trabajo severo de molienda por sobre el material secundario contenido dentro de la mezcla, aumentando de ésta manera el área superficial del material secundario y acomodándolo en forma de hilo a lo largo del recuperado.

El nuevo producto obtenido puede ser transportado nuevamente a un separador magnético para asegurar la limpieza del mismo, y posteriormente ser llevado a un aireador adaptado para uso criogénico. Dentro del aireador, el material secundario agrupado en forma de hilos se fluidiza dejando libre al material primario y quedando listo para su separación. Claro está, que como estamos hablando de una molienda criogénica, dentro del aireador no se maneja aire convencional, sino por el contrario, nitrógeno gaseoso sustituye al aire para mantener el poder refrigerante dentro del proceso y no perder las características ya ganadas a lo largo de la operación.

Los hilos del material secundario que se encuentran flotando dentro de las líneas de aireado, pasan a una cámara conectada a un ciclón donde se separan de la corriente de nitrógeno, recuperándose de ésta manera el material secundario dentro de un contenedor especial, de tal forma que al mismo tiempo aquellas pérdidas de nitrógeno gaseoso se reciclan hacia la línea de aereación.

El material restante, compuesto del polímero primario, se transporta a una turbina de cámaras para posteriormente ser empacado. Claro está que este proceso final se realiza una vez que se ha comprobado el tamaño adecuado de las partículas a empacar, ya que todas aquellas que se salen de la especificación son recicladas hacia el molino de grano fino, para que logren alcanzar el tamaño solicitado.

El producto final obtenido en la boquilla de salida se alimenta a un carrusel de empaque continuo, para ser depositado en bolsas listas para su transporte y distribución.

Este proceso curiosamente contradice los sistemas normales de molienda criogénica, ya que no se presenta un pre-enfriamiento previo de las piezas

o el material a tratar con un gas expandido proveniente del líquido criogénico. Por el contrario, esta pre-etapa se ahorra gracias al rápido congelamiento del desecho provocado por la inmersión inmediata del material y en lugar de reciclar el gas producido por el nitrógeno líquido para una etapa de preenfriamiento, este se utiliza para mantener a lo largo del proceso la temperatura adecuada de la molienda. Con estas modificaciones logramos evitar la fácil aglomeración del material ya que por lo general es extremadamente sensible a producir este tipo de formas físicas.

4.3.5 Molienda criogénica de cables eléctricos.

Debido a que muchos de los desechos plásticos se encuentran conformados por cables eléctricos, los cuales presentan un alma metálica generalmente formada por aluminio o cobre, recubiertos por algún material plástico que la mayoría de las veces es PVC, es necesario establecer un equipo especial para el reciclado de este tipo de producto. Básicamente, lo importante es la recuperación del recubrimiento plástico, ya que de acuerdo al método que a continuación se proporcionará, se podrá observar, como es posible sólo recuperar un molido plástico, mientras que el material metálico, ya sea aluminio, cobre o cualquier otro metal, se recupera en su forma original, siendo éste enrollado en aspas especiales.

Muchos procesos convencionales de reciclado se pueden aplicar a todos aquellos desechos de cables gastados o agotados, pero la mayoría de ellos presentan el problema que el material de desecho debe de ser cortado en trozos lo suficientemente pequeños para poder ser alimentados sin problema alguno a la maquinaria, mientras que en este método de molienda criogénica, la alimentación se puede llevar a cabo sin necesidad de cortar el cable de desecho, más aún, si tenemos rollos del material ya sea que este se encuentre fuera de especificación o que simplemente ya cumplió con su tiempo de vida útil, estos rollos se pueden manejar de la manera como se encuentran sin ningún cambio en la presentación física. En muchas ocasiones, antes de implantar la molienda criogénica, los cables desechados se quemaban para poder recuperar el metal, mientras que el plástico o hule utilizado en su recubrimiento se perdía por completo. Otras formas de ataque, era el realizar una incisión longitudinal a lo largo de todo el cable, para así poder pelarlo y dejar los dos elemen

tos separados uno del otro, esta técnica sólo era aplicable a aquellos cables que tenían diámetros pequeños y las longitudes de los mismos no eran demasiado grandes. Es más, anterior al desarrollo de este método, cuando la molienda criogénica comenzaba a conocerse, se intentó reciclar cables medianos mediante baños criogénicos, como cuando se reciclaban piezas completas, pero también se presentó el problema de que sólo era costeable para aquellos cables con diámetros no mayores de 30 mm.

Por estas razones, el propósito fundamental del método a describir es el de proporcionar una técnica revolucionaria en el campo de los cables, donde no importe el diámetro ni la longitud del material a reciclar. Donde el o los cables sean despojados de su cobertura plástica y a la vez el metal que los forma sea enrollado simultáneamente ya libre de recubrimiento.

Primeramente y de preferencia, el cable a tratar se debe de enrollar en un tambor rotatorio montado dentro de la cámara de enfriamiento criogénico, junto a ésta cámara se encontrará un aparato de stress mecánico y posterior a éste un nuevo tambor colocado en la cámara de recolección.

Preferentemente, la cámara de criogenización deberá de estar aislada del exterior, con el fin de evitar pérdidas en la inyección del fluido criogénico, ya que se aprovecha el calor sensible del fluido para el congelamiento adecuado del material a tratar.

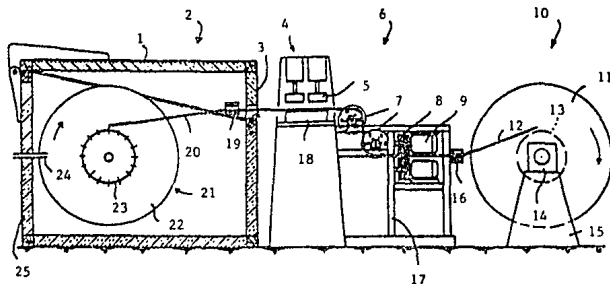
Para poder apreciar más claramente este método, podemos apreciar el diagrama esquemático del proceso, donde notamos un ventilador colocado dentro de la cámara de criogenización, utilizado con el fin de provocar una alimentación forzada del fluido criogénico dentro del sistema.

El segundo diagrama nos muestra una vista superior del sistema, parcialmente seccionada.

La operación básicamente se encuentra dividida en tres etapas, la primera comprende el enrollado y congelado de los cables de desecho, la segunda dedicada al equipo de triturado mecánico del recubrimiento plástico y la tercera dedicada al post-enrollado del metal ya libre del forro plástico.

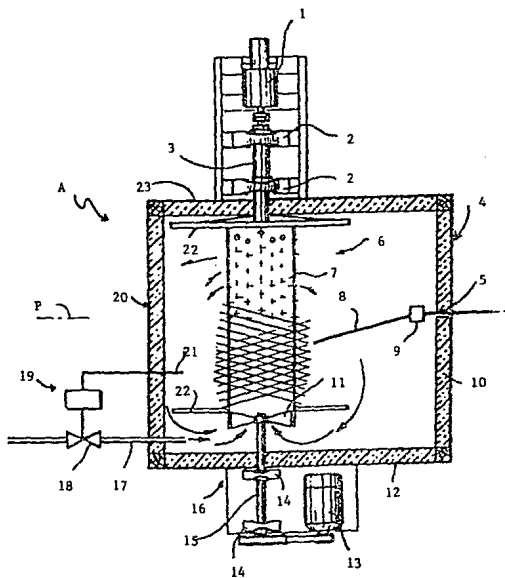
La cámara de congelamiento se encuentra constituida por un cuerpo rectangular forrado completamente por un material aislante, dentro de ésta se encuentra montado el tambor donde se ha adaptado un sistema de inyección por donde el fluido refrigerante es introducido hacia el interior de la cámara -

MOLIENDA CRIOGENICA DE CABLES ELECTRICOS.



- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Cubierta. | 14. Motor secundario. |
| 2. Area de congelamiento. | 15. Soporte del tambor. |
| 3. Pared frontal. | 16. Guia de salida. |
| 4. Area de molienda. | 17. Soporte de segunda etapa. |
| 5. Martillos. | 18. Yunque de golpe. |
| 6. Area de molienda y pelado. | 19. Guia de salida. |
| 7. Rodillos jaladores. | 20. Cable congelado. |
| 8. Cepillos rotatorios. | 21. Conductos. |
| 9. Motores. | 22. Tambor primario. |
| 10. Area de enrollado. | 23. Pestañas. |
| 11. Tambor secundario. | 24. Entrada de fluido criogénico. |
| 12. Alma del cable. | 25. Rectángulo aislador. |
| 13. Alma del tambor. | |

VISTA SUPERIOR AREA PRIMARIA.



- A. Area de congelación.
1. Unidad motriz.
 2. Cojinetes.
 3. Flecha.
 4. Carcaza del sistema.
 5. Abertura de salida del cable congelado.
 6. Conductos.
 7. Tambor cilíndrico.
 8. Cable de tratamiento.
 9. Guía del cable.
 10. Aislamiento.
 11. Propela del ventilador.
 12. Pared lateral.
 13. Motor.
 14. Cojinetes.
 15. Flecha.
 16. Ventilador.
 17. Sistema de inyección.
 18. Electroválvula.
 19. Unidad de inyección.
 20. Cuerpo de la unidad de tratamiento.
 21. Sensor de temperatura.
 22. Laterales del tambor.
 23. Pared lateral.

ra. Seguidos a éstos equipos, podemos encontrar opcionalmente un ventilador y una guía para el cable ya enrollado sobre el tambor primario.

El tambor primario consiste en un cilindro perforado con una serie de pestañas situadas en cada uno de los bordes del mismo. Cada una de éstas - pestañas se encarga de marcar el término del alma del tambor y hacer la conec ción de ésta con la flecha, que se encarga de mantener balanceado el tambor - con las paredes de la cámara frigorífica. Claro está, que ésta flecha se en - cuentra sujeta en el exterior por una serie de cojinetes localizados a la mis ma altura que ésta, en las paredes externas del rectángulo ya mencionado. Más allá de los cojinetes, la flecha sufre una extensión para acoplarse con la - parte motriz del tambor, constituido esencialmente por un motor de velocidad variable. De esta manera, el tambor se encuentra ensamblado a contrapeso, para así proporcionar la mayor eficiencia durante la operación, mientras que otra serie de pestañas se encuentran en forma anular ubicadas en la entrada o prin - cipio del alma.

La unidad de inyección se encuentra conformada por un conducto co - nectado al depósito de nitrógeno líquido, dicho depósito no se muestra en los esquemas, y que se encarga de comunicar al depósito directamente con el inte - rior de la cámara de congelamiento. El conducto presenta una válvula eléctrica controlada por sensores de temperatura, los cuáles se encargan de medir la temperatura producida dentro de la cámara de congelación.

Por otro lado, la propela del ventilador se encuentra ubicada en una posición coaxial con respecto al alma del tambor, de tal manera que se aprove - cha al máximo la agitación que éste ventilador pueda proporcionar.

Finalmente, dentro de la primera unidad, es necesario mencionar que la guía del cable se encuentra ubicada en la pequeña abertura de salida en - frente de la pared posterior de la cámara de congelación en un plano vertical simétrico al eje P del tambor.

En lo que respecta a la segunda etapa del sistema, el equipo de tri - turación mecánica, se encuentra situado sobre el eje P, gracias a un soporte vertical ubicado fuera de la cámara. El funcionamiento del triturador es diri - gido de manera perpendicular al eje por el cuál se mueve el cable de salida - previamente congelado. Cuando éste cable sale por la abertura especial, un yun - que doble de martillo se encarga de moler el recubrimiento plástico de acuer - do al plano P de referencia.

Dentro de esta segunda etapa, también se cuenta con un juego de dos rodillos jaladores encargados de guiar correctamente el cable desnudo, además de pasar simultáneamente a un juego de cepillos limpiadores, los cuales liberan al cable de cualquier resto de recubrimiento que pudiera seguir adherido al alma del material. Una vez que el cable se encuentra completamente desnudo y limpio, este pasa por una segunda apertura colocada sobre el soporte del triturador, para ser transferido a la etapa final del sistema.

La tercera etapa, conocida como el post-entrollamiento del metal, - precisamente como su nombre lo dice, se encarga de recibir el material libre y limpio de cualquier resto plástico. Un tambor secundario de estructura similar al primario se encuentra ubicado en esta tercera etapa, al igual que el primer tambor, éste nuevo también se encuentra ensamblado con un motor de velocidad variable, con el fin de poder realizar una labor de enrollado efectiva y sin problemas de aglutinamiento.

En comparación a los otros métodos de molienda criogénica, este sistema es relativamente sencillo, fácil y rápido, debido a las características especiales que el producto a reciclar presenta. No por esta razón, significa que el proceso sea menos importante, sino por el contrario, podemos demostrar sin temor a equivocarnos, que de alguna manera la molienda criogénica de cualquier tipo de material plástico representa no sólo ventajas en el producto final obtenido, sino que también aparecen simplificaciones técnicas, que a la larga podrían resultar muy beneficiosas.

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO.

Debido al rápido crecimiento de los desperdicios plásticos en nuestros días, la molienda criogénica de los mismos promete la obtención de excelentes prospectos para la industria gracias a la facilidad de manejar grandes volúmenes de producción y excelentes características de tamaño de partícula por parte del material recuperado. Además de no presentar ninguna degradación y mucho menos la caída de las propiedades inherentes del material, debido a que éste no sufre ningún "stress" térmico por arriba de la temperatura de fundición del material. Por estas razones y muchas más es que de acuerdo al análisis e -

conómico, podemos concluir la factibilidad de la molienda criogénica en los procesos de reciclado,

4.4.1 Evaluación del flujo de descuento efectivo.

Para el análisis inicial, fué necesario la recopilación de algunos datos importantes, sobre los cuáles se basan las ecuaciones obtenidas. Si tomamos en cuenta como ejemplo, el reciclado específico de las llantas para automóvil y de acuerdo al estudio de mercadeo, podemos concluir en la siguiente tabla:

COSTOS DE OPERACION.	PESOS/Kg.
Nitrógeno líquido	750.0
Mano de obra	190.0
Mantenimiento	35.0
Depreciación	140.0
Intereses	35.0
Potencia requerida	6.0
Costos totales operacion	1157.0
Gastos de seguridad	1711.0

Dentro de la primera parte del análisis económico, como su nombre lo dice, la evaluación del descuento efectivo, se deben de asumir una serie de condiciones hasta cierto grado ideales:

* Los costos, ingresos y egresos presentados en la tabla arriba propuesta.

* Se maneja un peso promedio de producción de aproximadamente 13 630 kilogramos de basura plástica por mes.

* Una capacidad promedio de uso del 70% respecto a la capacidad técnica establecida.

* Un préstamo suficiente para financiar el capital de inversión requerido, antes de la declaración de impuestos, dicho valor podría oscilar de manera tentativa en 115'200 000.

* Asumir que el rango de descuento podría oscilar en un 52% de la corporación total.

* Manejar un tiempo de vida media y un valor de depreciación - de aproximadamente 10 años.

En base a estas suposiciones y tomando en cuenta las variaciones en todas y cada una de las variables, podemos determinar el valor presente neto del sistema de molienda y bajo las condiciones ya mencionadas (VPN):

$$VPN = -(K + WC) +$$

$$\frac{1}{(1+r)^t} \times (R - (VC + FC)_t - T R - (VC + FC)_{t-1}$$

$$+ KT \times \frac{1}{(1+r)^2} + WC \frac{1}{(1+r)^n}$$

$$T R - (VC + FC)_n \times \frac{1}{(1+r)^{n-1}}$$

Los dos estos términos hasta cierto grado complejos, pueden ser descritos de la siguiente manera:

* $-(K + WC)$ es la investigación inicial, donde (K) es el crédito activo y (WC) es el capital de trabajo.

* $1/(1+r)^t$ es el factor de descuento para un tiempo determinado (t) y donde la variable (r) es el porcentaje de la tasa de descuento.

* $(R - VC + FC)_t - T R - (VC + FC)_{t-1}$ es el cálculo del flujo efectivo después de aplicar la tasa de descuento, para cada año de vida del sistema (n), donde (R) son las ventas totales rentables, (VC) son los costos variables totales, (FC) son los costos de reparación totales y (T) es el rango proporcionado por la corporación en cuanto a la tasa establecida.

* KT es el beneficio al 100% del capital permitido en la investigación en créditos de reparación, los cuales se asumen que se recibirán al final del segundo año.

* $WC 1/(1+r)^n$ es el valor presente del capital de trabajo recibido al final del proyecto.

* $TR - (VC + FC)_n \times 1/(1+r)^{n+1}$ es el valor presente de la tasa diferida en la operación para el flujo neto efectivo en el año (n).

De esta manera podemos establecer diferentes balances económicos — para cualquier material que queremos reciclar y de alguna manera comprobar su efectividad, ya no a nivel técnico, si no de alguna manera poder determinar el rango de competitividad que este podría tener en comparación con las resinas virgen de su misma naturaleza.

Siempre y cuando el valor del VPN nos de un valor positivo, podemos decir que el sistema para el cuál el polímero estamos utilizando, es competitivo, costeable y de muy alto rendimiento económico en comparación con los valores proporcionados por las resinas virgen.

En base a la fórmula desarrollada y propuesta en líneas anteriores se establecieron los siguientes valores para algunos polímeros de consumo general:

MATERIAL.	COSTOS (\$ MEX./Lb).
Poliéster termoplástico	180.00
PVC flexible	290.00
PVC rígido	490.00
Poliamidas	550.00
LDPE	320.00
HDPE	700.00
Polijuretanos	750.00
SBR	320.00
Caucho natural	350.00
Silicones	810.00
EPDM	350.00

LDPE = Polietileno de baja densidad.

HDPE = Polietileno de alta densidad.

SBR = Hule SBR.

EPDM = Hule EPDM.

4.4.2 Análisis de Sensibilidad;

La información utilizada en la sección anterior, de alguna manera - asume estimados ideales, siempre a favor del sistema. En la práctica los valores reales se encuentran levemente desviados de esos estimados ideales y la duración y el tamaño del sistema se encuentra determinado por el precio o la capacidad del sistema para operar ya sea a corto o mediano plazo.

En muchas ocasiones, el hecho de no tomar en cuenta las variables - más insignificantes, nos daría datos malos sobre los cuáles no podríamos determinar la efectividad económica del sistema. Aplicando este criterio, no sólo es necesario la evaluación de los máximos y mínimos dentro de las variables sino que de alguna manera se debe de establecer un análisis de sensibilidad para poder identificar las variables que son más críticas dentro del sistema y así lograr el éxito rotundo del proceso.

A largo plazo, la venta del material recuperado deberá de proporcionar la recuperación del costo de capital y el rango mínimo requerido para el regreso de la inversión de investigación. Para este propósito se han desarrollado dos ecuaciones específicas, la primera de ellas sin aplicar una tasa - específica de impuesto, mientras que la segunda, ya aplica dentro de su estructura la tasa específica de impuestos:

$$P = \frac{K + WC(1 - v^n r_0) + FC}{\frac{A_n/r}{cu/100 \times c}} + AVC$$

$$P = \frac{\frac{K(1 - TV^2_r) + WC(1 - v^n r)}{(1 - T)A_n/r + T(V^2_r - v^n r + 1)} + FC}{cu/100 \times c} + AVC$$

Donde las variables a definir quedan como sigue:

- * P es el precio de venta por tonelada.
- * K es el costo de capital para el sistema y equipo utilizados.
- * WC es el capital de trabajo.
- * FC son los costos de operación y reparación por año excluyen do los parámetros de depreciación.
- * VC costos variables por año.

* C es la capacidad técnica del sistema.

* $cu/100$ es el porcentaje técnico utilizado durante la operación.

* T es el rango corporativo de la tasa manejada.

* $r0$ es el rango de descuento antes de la tasa de impuestos.

* r es el rango de descuento después de aplicar la tasa de impuestos.

* A_n/r es el factor de descuento anual para un porcentaje de terminado de (r) y un tiempo de (n) años.

* vn_r es el valor presente de la moneda con un factor de descuento para un porcentaje de (r) en un tiempo de (n) años.

El significado apreciable de estos nuevos cálculos es la generación del VPN en ceros si es que realmente todas las suposiciones hechas son ciertas.

Gracias a este tipo de análisis, se pueden desarrollar infinidad de ecuaciones que traten de definir el comportamiento económico del sistema, el costo de las variables por unidad, los costos de operación y reparación anuales, el rango de descuento y la capacidad de uso del sistema y muchas más variables que podríamos definir, que realmente no tendría caso ejemplificar.

CAPITULO V:

USOS Y APLICACIONES DEL MATERIAL RECUPERADO.

CAPITULO V

USOS-Y APLICACIONES DEL MATERIAL RECICLADO,

5.1 INTRODUCCION.

Dentro del amplio mundo de los plásticos, estos han recibido el apoyo del industrial gracias a las características que éstos presentan, por lo cuál son materiales adecuados para infinidad de aplicaciones.

Por esta razón primordial, es que día a día la presencia de los plásticos en nuestra sociedad se ve incrementada. En la actualidad gracias al desarrollo de técnicas nuevas e ilimitadas de reciclado, el mundo de aplicación y usos de los mismos se incrementa aún más, ya que, en el caso de la molienda - criogénica, la mayoría de las veces, el recuperado conserva propiedades similares a las de la resina virgen de la cuál proviene, por esto, es necesario listar, los usos y aplicaciones de los plásticos más comunes reciclados - mediante los métodos de molienda criogénica.

5.2 TERMOPLASTICOS.

Como ya se mencionó anteriormente, los materiales termoplásticos son aquellos que bajo la acción del calor se reblandecen, facilitando su fundición y reprocesamiento, dentro de ellos y basandonos en el recuperado de los mismos podemos encontrar:

5.2.1 Poliolefinas.

5.2.1.1 Polietileno de baja densidad (LDPE).

Una vez que el material ha sido recuperado y tenemos el remolido, el mercado de mayor demanda es para la formación de películas de empaque, algunas laminaciones con otros materiales y especialmente para la manufactura de bolsas en general, sobre todo aquellas donde las propiedades de rasgado no son muy altas. En cuanto al recuperado, se encuentra prohibido el uso de éste en aplicaciones tal es como botellas para líquidos, aunque encuentra buena penetración en el recubrimiento de cables de segunda mano, algunos juguetes de segundo uso y tuberías para riego.

5.2.1.2 Polietileno de alta densidad (HDPE),

Gracias a la diversidad de este material, el recuperado encuentra excelentes campos de aplicación sobre todo en la manufactura de artículos para el hogar, como las cubetas, tinas, depósitos de agua, cajas para refrescos, contenedores industriales, tarimas, tapas para algunos recipientes y tubería de construcción. También se encuentra prohibido su uso en la producción de botellas para líquidos.

5.2.1.3 Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE).

Debido a las propiedades de alta resistencia del material, lo podemos encontrar en su variedad de reciclado, dentro de algunas bandas transportadoras, formación de tornillo alimentadores dentro de la industria, tablas para cortar algunos compuestos, guías para troncos en los aserraderos madereros. Como carga de refuerzo en algún porcentaje de resina virgen del mismo material.

5.2.1.4 Polipropileno (PP).

Este material ya recuperado mediante la molienda criogénica se puede aplicar en la manufactura de raffia de segunda mano, sobre todo para aquellos costales donde el peso que tienen que soportar no es extremadamente alto. Algunas veces lo podemos usar para formar cajas de acumuladores y algunos conectores de bajo riesgo.

5.2.1.5 Copolímero de etileno-acetato de vinilo (EVA).

Debido a que este compuesto es un copolímero, las aplicaciones pueden ser muy diversas, entre ellas podemos encontrar la formación de algunas películas plásticas, sue as para tenis de segundo uso y principalmente en el recubrimiento de cables.

5.2.2 Polímeros vinílicos.

5.2.2.1 Cloruro de polivinilo flexible (PVC-F).

Por ser uno de los termoplásticos más usados, tiene usos streadamente variados, aún ya en el recuperado. Dentro de estos usos podemos mencionar la formación de algunas películas para empaque, manufactura de bolsas, carteras y portacredenciales. La aplicación más fuerte es el recubrimiento de cables.

5.2.2.2 Cloruro de polivinilo rígido (PVC-R).

La mayoría de los productos manufacturados con el remolido de PVC rígido son artículos para el hogar, como los mangos de las escobas y otros productos para la limpieza. Además de utilizarse como relleno dentro de la rasina virgen destinada a producir tarjetas de crédito.

5.2.3 Polímeros estirenicos.

5.2.3.1 Poliestireno cristal (PS).

Su aplicación principal se encuentra destinada a la manufactura de empaque para cosméticos, sobre todo aquellos donde las características de transparencia no son demasiado altas, ya que el recuperado pierde un poco de la transparencia inherente contenida en la resina virgen. También se utiliza en la fabricación de estuches para cassette. Básicamente su campo más fuerte se encuentra destinado al empaque de productos no alimenticios.

5.2.3.2 Poliestireno medio impacto (MIPS).

Se destina al igual que el poliestireno cristal a la manufactura de algunos empaques, formación de los cuerpos de algunos rastrillos y bolígrafos.

5.2.3.3 Poliestireno alto impacto (HIPS).

Su única aplicación adecuada para el remolido, es la producción de tacones y puentes en la industria del calzado.

5.2.3.4 Poliestireno expansible (EPS).

Debido a las características y propiedades del material hasta la fecha no se ha logrado un remolido adecuado que cumpla con las mínimas especificaciones establecidas.

5.2.3.5 Copolímero estireno-butadieno (SB).

Al igual que el copolímero anterior, gracias a que es un copolímero, el número de aplicaciones se ve aumentado grandemente. La mayoría del remolido se aplica en la manufactura de artículos de consumo general y popular además de algunos juguetes.

5.2.3.6 Copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).

Debido a que en el reciclado de este material se logra perder un poco su alto brillo, generalmente se aplica como relleno dentro de la resina virgen, sobre todo para aquellas partes que van a ir metalizadas.

5.2.3.7 Copolímero estireno-acrilonitrilo (SAN).

La aplicación más importante del material recuperado, es en la producción de carcazas para acumuladores de autos y algunos encendedores.

5.2.4 Acrílicos.

5.2.4.1 Polimetil-metacrilato (PMMA).

Debido a que este es el único polímero susceptible de sufrir una depolimerización, no es necesario aplicar un método de reciclado ni convencional, ni por los métodos de molienda criogénica, ya que todo los desechos acrílicos que se logran obtener son depolimerizados, los productos obtenidos de esta depolimerización se utilizan para la manufactura de nuevos productos acrílicos.

5.2.5 Acetales.

5.2.5.1 Polioxido de metileno (POM),

La mayoría del material recuperado se encuentra dirigido a las áreas de plomería y jardinería, donde se fabrican válvulas de alimentación para los inodoros y algunos aspersores de campo.

5.2.6 Poliamidas.

5.2.6.1 Nylon 6 (PA 6).

El remolido se aplica especialmente en la fabricación de engranes de uso doméstico y mangos para herramientas. Algunas veces, cuando la mayoría de las propiedades de han conservado, se utiliza para el recubrimiento de cable.

5.2.6.2 Nylon 6/6 (PA 6/6).

El área más importante de aplicación es la automotriz, donde el recuperado proporciona buenos resultados en la formación de tanques para radiadores, depósitos para el líquido de los frenos y sujetacables.

5.2.7 Poliésteres.

5.2.7.1 Polibut ilen-tereftalato (PBT).

El reciclado de este material se utiliza en la producción de tapas para distribuidores de autos, algunos conectores eléctricos y como sustituto de la resina fenólica.

5.2.7.2 Polietilen-tereftalato (PET).

Debido a que el recuperado de este material pierde propiedades dentro del peso molecular, su aplicación más importante se ve dirigido a la producción de fibras plásticas y algunas películas. Últimamente se han hecho una serie de estudios con el fin de intentar una depolimerización dentro del material, aunque hasta la fecha no se ha logrado del todo.

5.2.7.3 Policarbonatos. (PC).

Utilizado como carga dentro de la resina virgen, se encuentra dirigido a la producción de anuncios luminosos donde las características de alta resistencia al impacto no son extremadamente altas.

5.2.8 Polímeros uretánicos.

5.2.8.1 Poliuretano termoplástico (TPU).

Gracias a ser un polímero de reciente descubrimiento, todavía sus aplicaciones no son muy grandes, dentro del recuperado podemos encontrar la producción de suelas para zapatos, películas para laminaciones posteriores con algún material textil, recubrimientos para cables y algunas películas de bajo riesgo en el rasgado.

5.3 TERMOFIJOS.

Antiguamente, los termofijos, debido a que por la acción del calor forman estructuras altamente consistentes era imposible pensar en una posible reutilización de los mismos. Hoy en día, gracias al desarrollo de nuevos sistemas de reciclado y al uso de la molienda criogénica, estos pueden ser reutilizados en una gran variedad de usos.

5.3.1 Poliésteres.

5.3.1.1 Poliéster insaturado (UP).

Generalmente se utiliza como relleno y carga de la resina virgen, logrando producir algunas piezas donde se requiere pigmentación y no una transparencia.

5.3.1.2 Poliéster insaturado con fibra de vidrio (UP - FG).

Desafortunadamente hasta la fecha no se han realizado pruebas con este termofijo, de tal manera que podemos considerar que el reciclado del mismo no es posible por el momento.

5.3.2 Polímeros uretánicos.

5.3.2.1 Poliuretano espuma flexible (PUR-F).

Practicamente utilizado exclusivamente en el relleno de los componentes principales, hasta el momento no se ha encontrado otra aplicación adecuada, sólo como refuerzo o carga.

5.3.2.2 Poliuretano espuma rígida (PUR-R).

Al igual que su hermano, el poliuretano de espuma flexible, - también se encuentra aplicado al área de las cargas, refuerzos y rellenos.

5.3.3 Silicones.

5.3.3.1 Silicón.

Este polímero cuando se maneja como un elastomero, sus potenciales como material recuperado son las mismas que si fuera una resina virgen, además de poder ser combinado con material virgen y lograr mejorar las propiedades iniciales proporcionadas por el material puro.

5.3.4 Polímeros fenólicos.

5.3.4.1 Resina fenólica (PF).

Utilizado como relleno o carga, la resina fenólica recuperada se dirige a los campos domésticos, lograndose manufacturer interruptores, por talámparas, tapas y tapones para botellas y algunos artículos de fantasía.

5.3.4.2 Melamina (MF).

La única aplicación hasta ahora reportada es como relleno o - carga de algunos termofijos y de la misma resina virgen.

5.3.5 Polímeros epóxicos.

5.3.5.1 Resina epóxica (EP).

En la actualidad, no se han realizado pruebas aplicativas sobre algún material recuperado de resina epóxica por lo cual consideramos que hasta la fecha no se ha logrado una completa recirculación del material recuperado.

CAPITULO VI:

CONCLUSIONES.

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES

Actualmente se está creando la necesidad de la molienda criogénica debido a las nuevas aplicaciones que requieren tamaño de partícula más pequeños, a los nuevos polímeros más resistentes y a la necesidad de recuperar una cantidad de desechos plásticos. La molienda criogénica empieza en los límites de los sistemas a temperatura ambiente y reduce los polímeros a tamaños más pequeños aportando de esta manera una mejor calidad y mayor velocidad de producción. Sólo por listar algunas de las ventajas de la implantación de la molienda criogénica como un método universal en el reciclado no sólo de plásticos sino de un sin número de materiales, tenemos:

* El proceso de molienda criogénica produce tamaños de partículas más homogéneos mejorando así la forma de la partícula y sobre todo la distribución de tamaño.

* Gracias a que el material de alimentación previamente se fragiliza mediante un congelamiento, la mayor parte de la reducción de tamaño se puede conseguir en una sola pasada disminuyendo así la cantidad de reciclado de las partículas mayores.

* El peligro de degradación se elimina, ya que en los métodos de molienda convencional producen liberación de calor, dentro de la molienda criogénica, esta eliminación o liberación se compensa por completo. Todos los procesos de criogenización mostrados manejan siempre un fluido de criogenización que en este caso es el nitrógeno líquido.

* La molienda criogénica tiene éxito con muchos materiales que no pueden reducirse eficazmente en condiciones de temperatura ambiente, haciendo posible la separación de trozos de material de diversos componentes.

* Gracias a los procedimientos y las bases de la criogenización, es posible implementar sistemas ensamblados o acoplados, como el hecho de manejar simultáneamente separaciones magnéticas, limpieza, etc., encontrándose por primera vez en la historia del reciclado un método para la separación y molienda de aleaciones plásticas.

Todas estas consideraciones catalogadas dentro del área técnica favorecen grandemente los sistemas de molienda criogénica en comparación a los métodos convencionales de separación, trituración y reciclado de materiales plásticos

claro está, que las ventajas deben de ser totales, es decir, que aunado al área técnica es necesario agregar el área económica, por lo cuál podemos listar:

* La molienda criogénica aumenta la velocidad de producción normalmente alcanzable con el molido convencional a temperaturas ambientales.

* Las exigencias energéticas del proceso, es decir, la potencia y consumo de la misma se reducen considerablemente, al tener que fragmentar un material que no tiene una resistencia al impacto alta o en ocasiones carece completamente de dicha resistencia.

* Al aumentar la capacidad de producción con los procesos de molienda criogénica, los costos de trabajo y algunos costos de operación se reducen.

* Las inversiones de capital, en comparación al establecimiento de una planta de reciclado convencional, son relativamente bajas.

* La competitividad económica de los productos finales obtenidos son excelentes, gracias a que en la mayoría de los casos se han conservado las propiedades del material, o sólo estas han sufrido leves modificaciones.

Por consiguiente, necesitamos en nuestros días, idear y poner en práctica nuevos sistemas de economía que dependan no de una constante expansión de la producción automatizada, sino de los frutos de un trabajo que es socialmente necesario. Debemos de dedicarnos a la fabricación de productos de alta calidad y que sean de una larga vida, en lugar de producir masivamente artículos manufacturados que se desechan casi de inmediato, sería más fácil obtener esta serie de productos, que en un futuro no muy lejano, preocuparnos por la implantación de tecnologías extremadamente avanzadas y complejas para poder reutilizar todos aquellos productos desechados. El tener conciencia de esto, como ya muchos la tenemos, significa tener esperanza. Sin ella, el haber escrito, investigado y ejemplificado, este tratado no hubiera tenido ningún objeto. Luchemos por reducir los desechos, en este caso específico, los desechos plásticos, para así mejorar nuestro bienestar y validez humana.

BIBLIOGRAFIA.

BIBLIOGRAFIA,

- 1) Leidner Jacob.
"Plastic Waste, recovery of economic value".
Sponsored by the society of plastics engineers, 1985.
Plastics Engineering, New York.
- 2) Lynch, A.J.
"Mineral crushing and grinding circuits: their simulation, optimization design and control".
Tercera edición, 1977.
El sevier scientific, Amsterdam.
- 3) Wiley John.
"Plastics Polymer science and technology".
Cuarta edición, 1982.
John Wiley and sons Inc., USA
- 4) Krause and Lange.
"Introducción al análisis químico de los plásticos".
Primera edición, 1970.
Editorial Blume, España.
- 5) Dr. Ing. C.M. Meysenbug Von.
"Tecnología de plásticos para ingenieros".
Manual del Ingeniero Técnico, 1981.
URMO ediciones, España.
Volumen IV.
- 6) Rodriguez Ferdinand,
"Principios de sistemas de polímeros".
Tercera edición, 1984.
Manual Moderno, México.
- 7) Milby, Robert V.
"Plastics Technology".
División plásticos, 1973.
Mc Graw Hill, New York.

- 8) Comisión de Pemento Minero.
"Teoría y práctica de trituración y molienda",
México, 1975.
- 9) Bikales, Overberger y autores.
"Encyclopedia of Polymer science and engineering".
Sección reciclado, 1985.
Wiley-Interscience Publication, Canada.
Tomos II, 7 y XIV.
- 10) Yeacombe, E.R.
"Sources of information on the rubber plastics and allied industries".
Segunda edición, 1968.
Pergamon Press, Londres.
- 11) Blanc, E.C.
"Tecnología y clasificación dimensional de los aparatos de fragmentación".
Concaseves & Broveurs, 1974.
Editions Eyrolles, París.
Tomo I, II y III.
- 12) Besselièvre & Schwartz.
"The treatment of industrial wastes".
Book Company, 1976.
Mc Graw Hill, New York.
- 13) Gordon Wilson David.
"Handbook of solid waste management".
Massachusetts Institute of Technology, 1977.
Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- 14) Autores varios.
"El mundo de los plásticos".
Primera edición, 1986.
Instituto Mexicano del Mástico Industrial, México.

- 15) Clifes Englewood.
"Polymer science engineering",
Segunda edición, 1978.
Prentice Hall, USA.

- 16) Dr. Ing. Postrd. Paredes Contreras Emiliano.
"Los polímeros nos dan pan, salud, bienestar y belleza".
Revista Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, 1990.
IMIQ, México.
Volumen XIV.

- 17) Mora Aguirre Juan Rafael.
"Residuos sólidos en Morelia: Un enfoque emprendedor para el reciclaje".
Revista Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, 1990.
IMIQ, México.
Volumen XIV.

- 18) Enichem Catalogs.
"Rotational Moulding".
Eraclear, 1985.
Enichem Company, Italia.

- 19) Bayer Corporation.
"Transformación Extrusión".
Manual técnico Termoplásticos, 1989.
Bayer termoplásticos, México.

- 20) Bayer Corporation.
"Transformación. Moldeo por inyección".
Manual técnico Termoplásticos, 1989.
Bayer termoplásticos, México.

- 21) Herbol Maschinenfabrik.
"El concepto Herbol: Máquinas a medida".
Catálogos técnicos, 1990.
Herbol GmbH, Alemania.

- 22) Sorema.
"Plastics recycling machinery".
Catálogo técnico, 1988.
Sorema products, New Jersey.
- 23) FRG.
"Continuous re-processing of PVC scrap".
K5-Information Brief report 23 No., 1984.
Werner & Pfleiderer Engineers Stuttgart, Alemania.
- 24) WEISS recycling.
"Instalaciones de lavado, tijeras de rollo e instalaciones de regeneración y pacas".
Folletería técnica, 1985.
WEISS GmbH, Alemania.
- 25) Resource RECYCLING.
"Recycling Equipment Guide".
Edición especial, 1989.
North America's Recycling Journal, USA.
Vol. n VIII.
- 26) Italian Manufacturers.
"Recycling polluted films".
Technical Magazine for the plastics and rubber industry, 1988.
Promoplast Srl, Italia.
- 27) Celata Claudio.
"Italian way to recycling".
Assocmaplast, 1988.
MACPLAS International, Italia.
- 28) Battenfeld.
"Compounding with the two-stage planetary roller extruder".
Catálogo técnico, 1989.
Battenfeld Extrusionstechnik GmbH, Alemania.

- 29) Eastman Plastics,
"Extrusion of shapes and profiles from PETG"
Publication No. TR-63, 1981,
Eastman Chemical Products Inc., USA.
- 30) Murtland, W.O.
"Cryogrinding scrap into filler".
Elastomerics, 1978.
Editor Elastomerics, Cleveland.
- 31) Harrison, Tong and Hilyard.
"Is cryogenic regrinding of scrap tyres economically feasible?".
Recycling division, 1984.
Plastics and Rubber International, USA.
Volumen IX.
- 32) Frable Norman B.
"Molido criogénico de plásticos".
Air products & Chemicals, 1980.
Plásticos Modernos, México.
Número 289.
- 33) Walker Dick.
"Use of cryogenically ground rubbers".
RPN Technical Notebook, 1979.
Air products, USA.
- 34) Williams, Virgil C.
"Cryogenic crushing of materials".
Patent 3 666 185, 1971.
United States Patents, USA.
- 35) Binger, Wayne W.
"Separation of joint plastic and metal components".
Patent 4 020 992, 1977,
United States Patents, USA.

- 36) Danioni, Francesco.
"Comminuting plant at cryogenic temperatures".
Patent 4 073 443, 1978.
Foreign Application Priority Data, Italia.
- 37) McMillan Fraser, Prahran.
"Treatment of scrap".
Patent 4 342 647, 1982.
The Commonwealth Industrial Gases Limited, Australia.
- 38) Aubry Nestor, Brussels.
"Process and device for cooling".
Patent 4 798 614, 1989.
Messier Griesheim GmbH, Alemania.
- 39) Lovette, Morris Jr.
"Process for reclaiming rubber, metal and fabric from whole tires".
Patent 4 025 990, 1977.
Air products and Chemicals. USA.
- 40) Le Diouyon, Raymond.
"Method and apparatus for the cryogenic stripping of electric cables".
Patent 4 589 203, 1986.
L'Air Liquide. Paris.
- 41) Krause, Lange and Ezrin.
"Plastics analysis guide. Chemical and Instrumental methods".
Cuarta edición, 1983.
Carl Hanser Publishers, Alemania.