



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**“DESARROLLO DE UN PROCESO PARA
EL RECICLADO DE POLIPROPILENO”**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A:
GLORIA ELIZABETH LÓPEZ LEOS**

ASESOR: ING. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA

277978



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/0024/98

ASUNTO: Asignación de Jurado

C. GLORIA ELIZABETH LOPEZ LEOS
Presente

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

- Presidente:** *I.Q. Eduardo Loyo Arnaud*
Vocal: *I.Q. Eduardo Vázquez Zamora*
Secretario: *I.Q. Francisco Silva Flores*
Suplente: *I.Q. Miguel Angel Varela Cedillo*
Suplente: *I.Q. Cornelio Flores Hernández*

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F., 22 de Junio de 1998

EL JEFE DE LA CARRERA

I.Q. Magín Enrique Juárez Villar

Irm

**“DESARROLLO DE UN PROCESO
PARA EL RECICLADO DE
POLIPROPILENO”**

AGRADECIMIENTOS

GRACIAS: A DIOS
A LA U.N.A.M.
A LA F.E.S. ZARAGOZA
A TODOS MIS PROFESORES
A TODOS MIS AMIGOS
Y MUY EN ESPECIAL, AL ING. EDUARDO VAZQUEZ ZAMORA,
POR TODO SU APOYO

DEDICATORIAS

A MIS PADRES FERNANDO Y TERESA:

QUIERO PLASMAR HOY EN ESTE PEQUEÑO ESPACIO, MI ENORME AGRADECIMIENTO Y AMOR, POR TODO LO MARAVILLOSO QUE SIEMPRE ME HAN DADO.

A MIS HERMANAS TERE Y NANCY:

GRACIAS POR ESTAR SIEMPRE CONMIGO, POR ENSEÑARME Y APOYARME EN TODO MOMENTO.

INDICE

Resumen.	6
Introducción.	7
Capítulo 1. Generalidades de los plásticos.	8
1.1 Antecedentes	9
1.2 Clasificación	10
1.2.1 Por composición química	10
1.2.2 Comportamiento en la transformación	11
1.2.3 Por consumo en México	12
1.3 Segmentación del mercado de plástico	13
1.4 Aditivos para los plásticos	14
1.4.1 Antioxidantes	14
1.4.2 Lubricantes	15
1.4.3 Agentes deslizantes	15
1.4.4 Cargas	16
1.4.5 Pigmento	16
1.4.6 Modificador de impacto	17
1.4.7 Retardante a la flama	17
1.4.8 Agente antibloqueo	17
1.4.9 Agentes antiestáticos	17
1.4.10 Absorbedores de luz UV	18
1.4.11 Blanqueador óptico	18
1.4.12 Agentes espumantes	18
1.4.13 Agente de entrecruzamiento	19
1.4.14 Aromatizante	19
1.4.15 Fungicida	19
1.4.16 Agente nucleante	20
1.4.17 Agente de acoplamiento	20

Capítulo 2. Manejo de desechos sólidos plásticos.	21
2.1 Desechos sólidos	22
2.2 Desechos plásticos	24
2.2.1 Desechos plásticos urbanos	25
2.2.2 Desechos plásticos industriales	25
2.3 Manejo de desecho plástico	26
2.3.1 Reducción de origen	26
2.3.2 Reutilización	27
2.3.3 Vertederos (dispositivo relleno sanitario)	27
2.3.4 Degradabilidad	28
2.3.5 Incineración	28
2.3.6 Reciclado	29
a) Mecánico	30
b) Químico	33
Capítulo 3. Generalidades del Polipropileno.	35
3.1 Historia	36
3.2 Variables de desempeño	37
3.3 Clasificación	39
3.3.1 Por materias primas	40
3.3.2 Por estructura química	40
3.4 Propiedades	41
3.4.1 Físicas	42
3.4.2 Mecánicas	44
3.4.3 Térmicas	45
3.4.4 Eléctricas	46
3.4.5 Ópticas	46
3.4.6 Químicas	46
3.5 Aplicaciones	47
3.5.1 Polipropileno homopolímero	47
3.5.2 Polipropileno copolímero impacto	48
3.5.3 Polipropileno copolímero random	48

Capítulo 4. Descripción de procesos de transformación de polipropileno.	49
4.1 Inyección	51
4.1.1 Descripción del proceso	51
4.1.2 Condiciones de operación	53
4.1.3 Descripción del equipo	55
4.2 Extrusión	62
4.2.1 Descripción del proceso	62
4.2.2 Descripción del equipo	63
4.3 Soplado	79
4.3.1 Descripción del proceso	79
4.3.2 Descripción del equipo	80
Capítulo 5. Análisis de reciclado de polipropileno.	83
5.1 Reestabilización del plástico reciclado	84
5.2 Aditivos importantes en el reciclado	85
5.3 Diagrama de bloques	87
5.4 Descripción del proceso	89
5.5 Diagrama de flujo de proceso	90
Conclusiones	96
Bibliografía	97

RESUMEN

Debido a que en nuestros días el tratamiento de desecho plástico, es una necesidad ecológica y económica, se planteó el desarrollo de un proceso para el reciclado de un polímero que se encuentra en los desechos sólidos plásticos en México y que se denomina: Polipropileno (PP).

El objetivo fue recuperar PP y mediante una reestabilización adecuada fabricar un artículo de plástico de calidad, que pueda competir en el mercado con el creado de sólo resina virgen.

Para lo anterior, se describió un proceso viable de reciclado de tapa de PP, proveniente de un centro de acopio para la creación de una caja para lapices de uso común.

Así entonces, se encontró que es fundamental hacer una reestabilización para obtener mejores propiedades físicas, ópticas y mecánicas. También de que las etapas de colección, selección y lavado del ciclo de los residuos sólidos juegan un papel muy importante, en la operación y que deben ser estudiadas más a fondo, para que el costo que representan se minimicen y el proceso se beneficie.

INTRODUCCION

La importancia del plástico en esta época es fácilmente distinguible por cualquiera de nosotros, basta observar alrededor para notar que existe una diversidad de productos plásticos en aplicaciones de toda índole.

Los plásticos son materiales que han sustituido a minerales, vidrio, papel, cartón, metal y que han hecho posible tener aplicaciones inimaginables en otros tiempos; intervienen además en la fabricación de productos tan simples como una bolsa de polietileno para empaque hasta una pieza de ingeniería de policarbonato (PC).

El polipropileno (PP) es un material de uso común, es un commodity que ha presentado un crecimiento sostenido debido a sus nuevas aplicaciones. Su principal mercado está en envase y los fabricantes nacionales de éste son Pemex e Indelpro. Y representa el 7% del total de plástico consumido en México.

Por razones ecológicas, económicas y políticas se ha investigado sobre las formas de recuperar resina, en este trabajo se enfoca al reciclado mecánico, ya que plantea la opción de no sólo recuperar la resina, sino de poder enriquecerla con aditivos y crear un producto final de calidad. Para esto es necesario analizar la resina que se va a reciclar, contar con un equipo adecuado y saber perfectamente hacia que mercado irá el producto terminado, con ello se identificarán las características requeridas.

Para lograr lo anterior, es necesario mejorar los procesos de separación de desperdicio plástico, pero también enriquecer el plástico usado, que en la mayoría de veces está degradado, tiene propiedades mecánicas pobres, contiene impurezas por lo que fabricantes como Ciba Geigy, Bayer, etc. han desarrollado aditivos para restituir propiedades y características de los mismos.

C A P Í T U L O 1

GENERALIDADES DE LOS PLÁSTICOS

GENERALIDADES DE LOS PLÁSTICOS

La palabra plástico deriva de "plastikos" que en griego significa capaz de ser moldeado, pero ahora no es suficiente este concepto para describir la gran variedad de materiales que así se denominan.

Los plásticos son polímeros, macromoléculas formadas por la unión de moléculas de un mismo compuesto (monómero), contienen en su estructura principal carbono e hidrógeno y al aplicarles calor y presión pueden ser moldeados mediante un proceso de transformación determinado.

Dentro de los plásticos las denominadas poliolefinas son termoplásticos, cuya principal característica es poder ser fundidas a elevadas temperaturas. Se producen por la polimerización de pequeñas moléculas llamadas alfa olefinas, que son hidrocarburos alifáticos insaturados con una doble ligadura localizada entre el primer y segundo átomo de carbono y tienen la fórmula general $C_n H_{2n}$, como ejemplo de estos materiales se tiene al etileno y propileno.

En el polipropileno (PP) se combinan átomos de hidrógeno y carbono para formar monómero de propileno $CH_3 CH=CH_2$ que tiene 3 átomos de carbono y 6 de hidrógeno, y cuyo tercer átomo de carbono permanece colgante y gira en espiral con regularidad alrededor de la estructura en cadena.

1.1 Antecedentes.

En la antigüedad las resinas naturales como el ámbar, goma laca, hule caucho se usaban para elaborar objetos de uso práctico. Después se fabricaron resinas semisintéticas mediante tratamientos químicos y físicos para una infinidad de aplicaciones.

La primera resina semisintética fue el hule vulcanizado, que obtuvo Charles Goodyear en 1839 con la reacción de azufre y resina natural caliente (caucho).

En 1868, John Wesley mientras buscaba un sustituto para el marfil, preparó una mezcla de nitrato de celulosa y alcanfor, la trató bajo presión y en presencia de solventes, obtuvo el celuloide, que puede considerarse el primer material plástico derivado de una sustancia vegetal.

En 1909, Leo Baekeland concluyó su investigación sobre productos resinosos obtenidos por condensación del fenol con formaldehído; esta resina inicialmente era fusible y soluble, pero bajo la acción del calor y un catalizador, se convertía en una sustancia dura, infusible e insoluble. Esta resina sintética usada para preparar los primeros compuestos para moldeo de termofijos fue llamada bakelita.

En el siglo XIX los científicos analizaron que por acción de la luz, calor o catalizador, sustancias gaseosas o líquidas se convertían en viscosas o sólidas, observaciones importantes para la obtención de plástico.

Ya en el siglo XX inicia la era del plástico, la obtención y comercialización de sintéticos, el registro de numerosas patentes, se crea con ello una infinidad de aplicaciones para esos materiales.

Con la segunda guerra mundial 1930-1950 aparece la necesidad de materiales con mejores propiedades, costos menores, por lo que surge el nylon, polietileno de alta densidad (PEAD) y teflón.

Para 1952 los científicos Ziegler y Natta contribuyen en la polimerización del etileno con una nueva sustancia catalizadora que opera a una presión normal y baja temperatura.

En los años siguientes se modificaron los plásticos ya conocidos con espumantes, se mezclaron con cargas para obtener materiales más resistentes y con mejores propiedades mecánicas. Se hicieron cambios en la estructura química, se copolimerizó para obtener materiales con las principales propiedades de cada uno de los componentes.

En los 70 y 80s se produjeron plásticos con altas propiedades como polisulfonas que tienen buena resistencia eléctrica y resistencia a los ácidos y bases corrosivos.

La tendencia actual se dirige hacia el desarrollo de nuevos catalizadores que mejoren las propiedades de los materiales, pero también se investiga sobre mezclas y aleaciones de polímeros.

1.2 Clasificación.

Las diversas formas de clasificación de los plásticos son las mencionadas a continuación: Por composición química (cantidad de monómero), por comportamiento en la transformación y por consumo.

1.2.1 De acuerdo a la composición química .

En esta clasificación los plásticos pueden ser homopolímeros o copolímeros.

Homopolímero:

Contiene una sola clase o tipo de monómero que reacciona mediante ciertos iniciadores (peróxido orgánico) a una determinada presión y temperatura.

Copolimero:

Contiene 2 o más monómeros que polimerizan conjuntamente (cada uno llamado comonómero).

De acuerdo al arreglo que toman en la cadena pueden ser:

Al azar.- Cuando no existe ningún orden entre los monómeros.

Alternados.- Se alternan los diferentes monómeros en una secuencia.

Bloque.- Las moléculas toman lugar por grupos definidos, primero 2 monómeros o más de un tipo, después 2 monómeros de otro tipo, etc.

Injerto.- Hay una cadena principal de un sólo monómero, pero se insertan pequeñas cadenas de otro tipo de monómero.

1.2.2 Comportamiento en la transformación

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

Termoplásticos:

Se caracterizan por transformarse del estado sólido al líquido y viceversa mediante la acción del calor; además en estado sólido pueden deformarse permanentemente después de aplicar una fuerza sobre ellos. Las macromoléculas en estos plásticos están libres unas de otras, por ello pueden deslizarse al aplicarles calor. La capacidad de reblandecerse o fundirse les permite moldearse, es decir una lámina puede pasar a un estado elástico y adquirir una nueva forma después de enfriarse en un molde. Sus desechos son reciclables.

La desventaja de estos materiales es que el reblandecimiento provocado por el calor limita su temperatura de uso, cuando se someten a la acción de fuerzas mecánicas.

Los termoplásticos se subdividen de acuerdo a su arreglo molecular en amorfos y cristalinos.

Amorfos.- Son materiales que funden en un intervalo de temperatura, esto es, no existe un punto de fusión preciso, en su lugar el material pasa del estado sólido al viscoso a medida que aumenta la temperatura para finalmente convertirse en un fluido. Las moléculas están en completo desorden, por lo que a través de los huecos dejan pasar la luz, son plásticos transparentes o traslúcidos y como ejemplo de estos se tienen a las resinas celulósicas, metacrílicas, poliamidas amorfas, policarbonato, poliestireno.

Semicristalinos.- Están constituidos por partes amorfas y partes cristalinas, presentan un punto de fusión característico. La estructura semicristalina hace a estos materiales más resistentes a los agentes químicos, solventes, sustancias ácidas o básicas y menos sensibles a los aumentos de

temperatura, en tanto que mantienen las características de resistencia mecánica y de rigidez hasta la proximidad del punto de fusión. El paso de la luz en estas moléculas se dificulta por consecuencia son materiales opacos como los llamados poliacetales.

Termofijos:

Se obtienen por reticulación de productos líquidos de bajo peso molecular, están reticulados en todas direcciones y debido a esto sólo pueden ser fundidos una sola vez, lo hacen inicialmente por la acción del calor, pero después si se continúa aplicando calor, se experimenta un cambio químico irreversible, el cual provoca que las resinas se tornen infusibles (es decir no se plastifican) e insolubles; este comportamiento es causado por la presencia de catalizador o de agentes reticulantes. A temperatura ambiente, los materiales son generalmente duros y como no se funden no son reciclables.

Elastómeros:

Son polímeros elásticos, sus macromoléculas están entrecruzadas por enlaces químicos y comprenden los hules naturales y todos los hules sintéticos. Son materiales que recuperan casi totalmente su forma original después de aplicar una fuerza sobre ellos.

Las propiedades elásticas de los hules alcanza sus valores máximos después de un apropiado tratamiento de vulcanización o curado con azufre o peróxidos. La vulcanización los transforma en infusibles y logra sean más resistentes a la acción de agentes químicos.

1.2.3 Por consumo en México

Se clasifican en commodities, termofijos, técnicos y especialidades.

Comodities:

Una resina commodity es una resina de uso común, es un material ampliamente usado (75% del total de consumo de plástico en México), que tienen buenas propiedades y precio moderado. Son el polipropileno (PP), polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno tereftalato (PET), poliestireno (PS).

Termofijos:

Estos materiales requieren de alta creatividad para el diseño de productos principalmente en aspectos de apariencia, color y forma. Tienen un consumo menor.

Son el poliéster, silicón, fenólicas, epóxica, poliuretano (PU).

Técnicos o de Ingeniería:

Tienen alto desempeño y funcionalidad con un excelente conjunto de propiedades tales como resistencia mecánica, límites de temperatura elevados, pero son materiales caros.

Son poliamidas (PA), poliacetales, acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), policarbonato (PC), acrílico

Especialidades:

Tienen una ρ más propiedades sobresalientes, un precio alto, su consumo es pequeño pero son plásticos vanguardistas.

Son óxido de polifenileno (PPO), polifenileno sulfona (PPS), politetrafluoroetileno (PTFE).

1.3 Segmentación del mercado de plástico.

La segmentación del mercado se ha definido de acuerdo a las sociedades Americana, Alemana y Japonesa que son las líderes en consumo de polímeros. Así para el mercado mexicano se tiene lo siguiente (ver tabla 1).

Tabla 1 Mercado del plástico (México 1996)

Mercado	Miles de Ton	%
Envase	915	40.0
Consumo	405	19.0
Construcción	330	16.0
Muebles	155	7.0
Industrial	115	5.3
Eléctrico-Electrónico	105	4.8
Adhesivos	55	2.3
Transporte	52	2.2
Agrícola	47	2.0
Médico	21	1.0

El mercado de envase tiene la mayor participación 40% y los commodities destacan con el 75% del mismo. Se fabrican películas de polietileno y polipropileno para bolsa y empaque flexible, cajas,

cubetas y láminas. Para la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética, se fabrican envases mediante el proceso de soplado e inyección.

El mercado de consumo fabrica piezas de uso cotidiano, enseres domésticos, juguetes, artículos para oficina, popotes, mangueras. Tiene el 19% del consumo total de plástico.

En la construcción, el plástico ha sustituido al asbesto y vidrio en tinacos y cancelería. Se usa para fabricar tubos rígidos, pisos, puertas, alfombras. También se hacen muebles de plástico como sillas, mesas, sillones, telas para tapicería, persianas, etc.

Para el mercado industrial se fabrican partes de maquinaria como engranes, poleas, carcazas, tuberías para procesos químicos y presentan el 5.3 % del consumo total.

Para la industria eléctrico-electrónica se usan en recubrimientos de cable, cintas magnéticas, baterías, equipo de cómputo, aparatos electrodomésticos.

El mercado de transportación agrupa aplicación de los plásticos en automóviles, motocicletas, aviones y tiene el 2.2 % del consumo total.

El sector médico utiliza productos de plástico como mangueras, jeringas, perfil, recipientes.

Para adhesivos se utilizan plásticos termofijos y se fabrican tintas para impresión, esmaltes.

1.4 Aditivos para los plásticos.

Los aditivos son materiales de origen orgánico e inorgánico que se incorporan a los plásticos antes o durante su transformación para que mejoren sus propiedades o se facilite su procesamiento.

La forma de incorporarlos es mediante tolvas múltiples que alimentan diversos materiales. La técnica de alimentación puede ser volumétrica o de aligeramiento (gravimétrica), esta última es normalmente más exacta, en ella se tienen controles con microprocesadores que determinan y monitorean las cantidades de material alimentado al interior de la cámara de mezclado. También se puede usar unidades centrales de mezclado cuando se necesitan suministros mucho mayores que los que son posibles con los mezcladores incorporados.

La selección del aditivo adecuado está en función del producto final requerido y de acuerdo a la propiedad que requiere ser modificada. Hay aditivos de procesamiento, funcionales y multifuncionales.

Los aditivos de procesamiento tienen la función de evitar que el polímero se degrade y para PP se usan los siguientes.

1.4.1 Antioxidantes

La oxidación es un fenómeno irreversible, se distingue principalmente por el amarillamiento y pérdida de propiedades mecánicas. Los antioxidantes protegen al polímero contra los daños que causa la oxidación térmica durante la fabricación de estos, durante su procesamiento posterior o

durante su uso final (condiciones ambientales). Cumplen la función de inhibir o retardar el mecanismo de oxidación-degradación. Cuando se incrementa la tolerancia al calor se está prolongando su vida útil, por ello estos materiales son de suma importancia.

Para PP se utilizan antioxidantes primarios, los cuales inhiben la degradación por medio de radicales libres, son compuestos fenólicos y aminas aromáticas que contienen grupos OH ó NH reactivos, y que donan los hidrógenos para formar radicales libres.

El BHT (hidroxitolueno Butilado) es un material fenólico con aprobación FDA (Food and Drugs Administration) y se aplica del 0.05-0.25%.

También se usan antioxidantes secundarios cuya función es descomponer los hidróxidos insaturados, pero no pueden usarse como antioxidantes únicos en el plástico, ya que sólo detienen la reacción en cadena, pero no el inicio de la descomposición, se utilizan a la par de los antioxidantes primarios. Son fosfitos, que dan estabilidad al calor y no decoloran y que además mejoran el índice de viscosidad de los polímeros, estos materiales se aplican del 0.1-0.3%.

1.4.2 Lubricantes

Su función es minimizar el calor generado en el polímero, debido a la fricción que se presenta entre éste y el husillo y reducir al mismo tiempo la viscosidad para evitar la adhesión de la masa fundida.

Para Poliolefinas (PO) se utilizan amidas de ácidos grasos que actúan también como agentes antibloqueo, entre éstas tenemos la eurocamida y oleamida. Son lubricantes internos, que actúan cuando el material se encuentra fundido. Se usa también el estearato de zinc dosificando 0.25-1% y el estearato de calcio que actúa como coestabilizador y promotor de fusión.

1.4.3 Agentes deslizantes

Básicamente se utilizan para fabricar película, ya que lubrican la superficie durante y después del procesamiento. Su función es migrar a la superficie de los plásticos y reducir el coeficiente de fricción y evitar la adherencia de la película con la maquinaria.

Son ésteres de ácidos grasos, las más usadas son la eurocamida y la oleamida y se aplican 2-10%.

Los aditivos funcionales tienen la tarea de modificar o incrementan las propiedades de los plásticos, los protegen de factores externos como la luz solar, fuego, etc., para el PP se utilizan los siguientes:

1.4.4 Cargas

Las cargas incrementan propiedades mecánicas en los polímeros y reducen costos del producto final, ya que al mezclarse se abaten costos porque son generalmente más económicas que la resina. Se aplican del 10-30%. Como carga orgánica se tiene la harina de madera, que llega a absorber un 8% de humedad, reduce la contracción de moldeo y su característica principal es su baja densidad y costo. Las cargas inorgánicas incrementan la resistencia a la tensión, compresión, resistencia química y por otra parte reducen la expansión térmica que origina abrasión a la maquinaria. Así se tiene al carbonato de calcio, talco, mica y esferas de vidrio.

El carbonato de calcio es la carga más usada en la industria del plástico, hay de 2 tipos, el natural o micronizado y el sintético o precipitado, el primero es altamente puro 98-99.5%, no es abrasivo ni tóxico y es más barato que el sintético obtenido por métodos químicos y se usa en la industria cosmética y alimenticia.

El talco es un mineral de silicato de magnesio hidratado que incrementa la tenacidad y módulo de flexión, mejora la estabilidad dimensional, disminuye el encogimiento y se utiliza en piezas automotrices con PP.

La mica es un mineral de aluminosilicato que contribuye a la resistencia química, resistencia al agua y da estabilidad dimensional.

Por último las esferas de vidrio dan transparencia, resistencia a la compresión y una estabilidad térmica elevada.

1.4.5 Pigmento

Es un polvo de origen orgánico o inorgánico con tamaño de partícula de 0.01 a 1 micras, insolubles en el medio de aplicación y su función es conferir color.

Para la coloración de los materiales plásticos, se requiere de la dispersión del pigmento, siendo posteriormente humectado por la resina fundida y distribuido por la acción mecánica del equipo empleado de manera homogénea.

La dispersión se realiza en 4 etapas: humectación, molienda, distribución y estabilización.

La humectación se efectúa para contactar la superficie de las partículas pigmentarias y el plástico fundido.

En la molienda se pretende evitar la cohesión de las partículas aglomeradas.

La distribución se requiere para repartir homogéneamente las partículas de pigmento en la masa fundida.

La estabilización se usa para pigmentar en plastificantes, disoluciones de poliuretano (PU), usando carga eléctrica basada en la repulsión entre las cargas eléctricas superficiales de las partículas y la estérica, con ello se logra una repulsión entre las cargas superficiales de las partículas del pigmento.

1.4.6 Modificador de impacto

Son compuestos que absorben y desvían la vibración reduciendo una posible fractura que se presenta en el plástico cuando recibe un impacto.

El EPDM (copolímero de etileno propileno dieno) es un elastómero sintético, que se usa y se dosifica del 5-15%, da resistencia química y propiedades de aislamiento eléctrico.

1.4.7 Retardante a la flama

Estos materiales inhiben la flamabilidad, se usan 3-15%. Son compuestos bromados y generan gases de bromo, el cual desplaza al oxígeno del aire y, por lo tanto, impide la reacción de combustión.

Los compuestos de antimonio se usan como ayuda de los anteriores, liberando el halógeno y combinándose con el antimonio desplazando entonces al oxígeno.

1.4.8 Agentes antibloqueo

Evitan que las películas se adhieran unas con otras, al generarse cargas electrostáticas. Se aplican interna y externamente, hay ceras, sales metálicas de ácidos grasos y sílicas. Así por ejemplo el silicato de calcio se aplica al 0.1% y las ceras de amina al 1%.

1.4.9 Agentes antiestáticos.

Los plásticos son receptivos de cargas electrostáticas y pueden mantenerlas a menos que se modifiquen para lograr disiparlas. La presencia de estas cargas atrae el polvo indeseable para el producto terminado, crea interferencia en el procesamiento, adhesión estática entre películas y dificultad para el desmoldeo.

Estos aditivos tienen poca compatibilidad con el plástico, por ello migran a la superficie donde sus grupos hidrofílicos atraen la humedad del ambiente originando la disipación de la carga.

Son titanatos nealcoxi, zirconatos y aminas etoxiladas que se aplican al 0.5% para PP.

1.4.10 Absorbedores de luz ultra violeta (UV)

Evitan la degradación foto-oxidativa, causada por la exposición prolongada al ambiente y principalmente por el componente dañino UV de la luz solar, siendo necesario entonces una estabilización efectiva al calor, a la luz y al oxígeno atmosférico.

En particular la exposición a la luz UV inicia una degradación que reduce la vida útil de los polímeros, limitando por lo tanto su aplicación. Esta degradación induce a la pérdida de las propiedades físicas y mecánicas del polímero. La reacción ocurre cuando la energía de la luz UV rompe la cadena molecular y forman radicales libres que reaccionan con el oxígeno atmosférico y crean un compuesto peroxi, el cual ataca otro punto para generar un hidroperóxido (ROOH) insaturado o formar radicales libres y acelerar la reacción, rompiendo la cadena del polímero y provocando una reacción en cadena. Los aditivos interrumpen la secuencia de reacción, protegen de los rayos UV, ya sea absorbiéndola (reprimiendo el estado excitado de la molécula) o inhibiendo el proceso de propagación.

Para PP se usa un absorbedor de luz ultra violeta que convierte esa fracción en energía infrarroja no destructiva, la cual se disipa como calor, pudiendo ser benzofenona (absorción moderada rango 230-390 nm) o benzotriazol que absorbe intensamente y trabaja en un rango 80-390 nm. Se aplican del 0.1-0.5 %.

Las aminas con impedimento estérico (HALS), son el tipo más reciente de estabilizador de luz UV y sirven como depresores del nivel de excitación o peróxidos destructivos. Colectan los radicales libres y terminan la secuencia de degradación.

1.4.11 Blanqueador óptico

Ocultan el amarillamiento, incrementan el brillo y la intensidad de los colores en productos terminados. Son benzoxasolas y triacinas. Para PP se usa el butil estearato en dosificación 50-100 ppm.

1.4.12 Agentes espumantes

Son compuestos químicos que a altas temperaturas se descomponen en gases y se utilizan para generar espacios en el material, reduciendo peso y costo del producto final. Incrementan además la resistencia mecánica, el aislamiento acústico y térmico logrando obtener productos con otra apariencia y propiedades.

Los agentes espumantes químicos, son compuestos que se descomponen a la temperatura de procesamiento del polímero (cuando la resina está en estado fundido) y generan al gas que forma la estructura celular; el criterio más importante para su elección es ese rango de temperatura. La reacción de descomposición se lleva a cabo cuando el polímero se encuentra en estado fundido.

Cuando se aplican al 0.1%, eliminan los rechupes de la pieza inyectada, del 0.2 al 0.8% es posible producir piezas por inyección con espuma estructural. Para el PP se utilizan los siguientes materiales: azodicarbinamida (ABFA), que es un polvo amarillo no tóxico y se descompone de 205 a 215 °C liberando 200-220 cm³/g (32% N₂, CO y CO₂), tiene aprobación FDA.

Trihidracinotriacinas, es un polvo grisáceo con temperatura de descomposición de 275 °C y libera a 320 °C 225 cm³/g (N₂ y NH₃).

P-Toluilen sulfonilo semicarbazamida (TSSC), es un polvo blanco con temperatura de descomposición de 228 °C y libera gas 140 cm³/g (N₂, CO₂, NH₃).

1.4.13 Agente de entrecruzamiento

Unen las cadenas de los polímeros y forman puentes para incrementar propiedades mecánicas, químicas y resistencia al medio ambiente. Dan mayor resistencia a la tensión, son peróxidos orgánicos, peroxiesteres y peroxiacetales.

1.4.14 Aromatizantes

Son fragancias que ayudan a disimular los olores que se generan dentro de las bolsas de la basura o de envases, mejoran por ejemplo la apariencia de juguetes, incrementan la esencia de un producto.

Se integran como Masterbatch o en forma líquida, disueltos en aceites. En poliolefinas se usa por ejemplo un concentrado en base polietileno o polipropileno 0.2-1%, con índice de fluidez de 20 y densidad de 0.91-0.93 g/cm³.

1.4.15 Fungicida

Estos compuestos, evitan el crecimiento de microorganismos que producen puntos negros o manchas rosas en la superficie de los plásticos, originando fracturas.

Se utilizan en productos que estarán expuestos al sol y agua como recubrimientos de alambre, cable o tapices. Se usa tributil estaño, etil hexoato de difenil antimonio 0.1-0.5%.

Los aditivos multifuncionales tienen la tarea de incrementar propiedades y a la vez mejorar el procesamiento. Para PP se usan los siguientes:

1.4.16 Agente nucleante

Estos aditivos incrementan la cristalinidad de los plásticos aumentando la dureza del producto, resistencia a la tensión, al impacto y reducen los ciclos de moldeo (aumentan la productividad).

Estos compuestos generan un mayor número de núcleos pueden ser absorbidos por el polímero, son insolubles en el plástico. Para PP se mejora la apariencia de la película cuando se usa benzoato de aluminio, sodio o potasio al 0.5%.

1.4.17 Agente de acoplamiento

Mejoran la resistencia al impacto y se pueden combinar con elevadas cantidades de carga, para incrementar la resistencia química, térmica y eléctrica. Modificando la región interfacial entre la carga y generando un enlace más fuerte entre los dos compuestos, esto es forman una aleación de materiales incompatibles.

Para PP se utilizan los titanatos al 0.2-2%, y se origina el acoplamiento con los protones libres de la interfase inorgánica al reaccionar con ellos, uniéndose así el compuesto orgánico con el inorgánico.

C A P Í T U L O 2

MANEJO DE DESECHOS

SÓLIDOS PLÁSTICOS

MANEJO DE DESECHOS SOLIDOS PLASTICOS

2.1 Desechos Sólidos.

Los desechos sólidos se producen como consecuencia de las actividades humanas y pueden ser de origen doméstico, industrial o de servicio.

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), la zona metropolitana de la Ciudad de México es uno de los 5 asentamientos humanos que genera más basura en el mundo; se producen más de 19000 Ton de basura al día, de las cuales el 50% son recuperables, pero sólo se está rescatando del 10 al 23%.

Los desechos sólidos de la Cd. de México están compuestos por el 40% de sustancias orgánicas, el 15% es papel y cartón, el 8% vidrio, el 5% plástico, el 6% fierro, el 5% aluminio, el 4% materiales diversos como estufas viejas, el 4% trapos y ropa vieja, el 3% pañales desechables y el 6% restante a todo tipo de cosas (loza, madera, artículos de piel, etc.).

Su origen es diverso, de las casas proviene el 43.3%, de los comercios 23.5%, de los mercados públicos 10.4%, de los parques y jardines 10.6%, de los hospitales 3% (de éste el 40% se cataloga como residuo peligroso) y el 11.2% restante es consecuencia de actividades diversas.

Dentro de la categoría de residuos peligrosos se encuentran solventes, resinas, metales, tintas, ácidos y bases, etc. Son residuos de proceso que involucran el manejo de sustancias químicas con características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas. En el D.F. se producen 2.5 millones de ton al año y la forma de control es por confinamiento y reciclaje.

Es importante saber que en la Cd. de México el 75% de los residuos es colectado y el 25% restante queda en la vía pública, terrenos baldíos y del total recolectado el 65% se dispone en tiraderos a cielo abierto y solo el 35% en rellenos sanitarios y que además los residuos industriales que no se depositan en los tiraderos, se les quema en plantas especiales de incineración, cuando estos materiales se queman producen contaminantes como HCl, dioxinas y metales pesados que acaban depositándose en la atmósfera, los bosques y las tierras de cultivo.

Conociendo estas cifras, es necesario en nuestros días lograr un control adecuado de todos los residuos sólidos que se generan en un asentamiento humano, por lo que un manejo adecuado debe considerar no sólo aspectos técnicos que involucren dicho manejo, sino también considerar los aspectos social, político, económico y administrativo.

Así para un conveniente manejo, es necesario clasificar los residuos de tal manera que aquellos que puedan ser aprovechados, se recuperen y los que ocasionen un daño al ambiente o a la salud pública sean confinados.

Ciclo de los residuos sólidos

El ciclo de los residuos sólidos está compuesto de diferentes etapas estrechamente vinculadas, el cual se inicia desde la misma producción de los bienes de consumo, continuando con la generación, almacenamiento, recolección, transferencia, transporte primario y secundario, tratamiento y disposición final. La interrelación de las etapas mencionadas se ilustra en la fig. 1

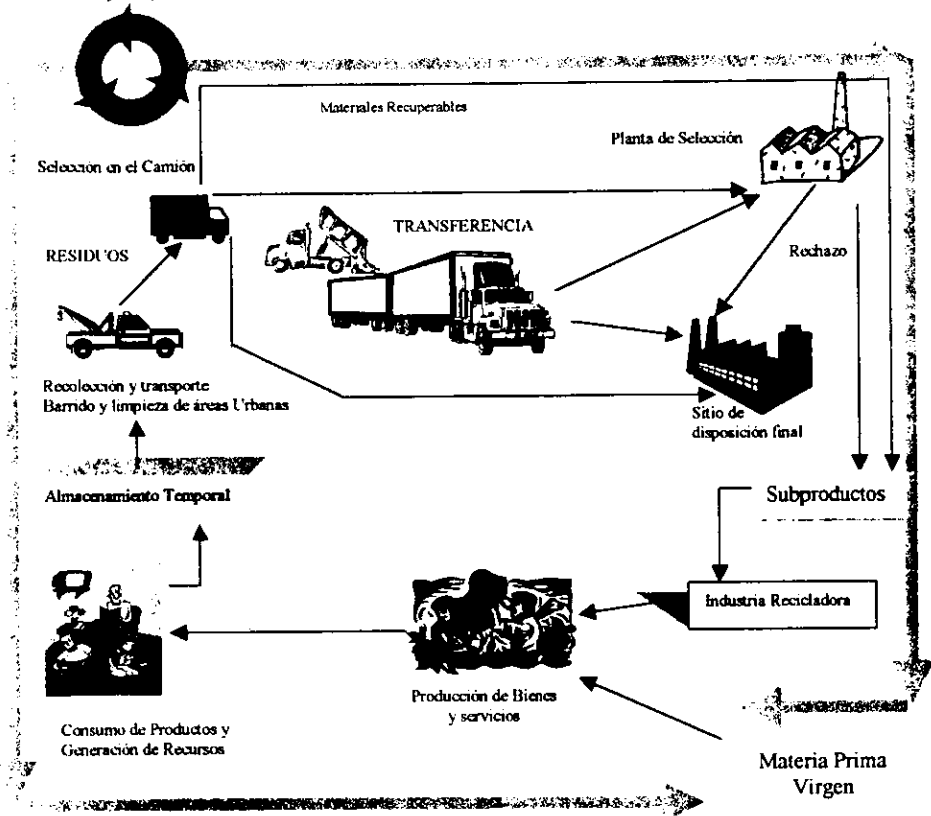


Fig. 1. Ciclo de los residuos sólidos.

Generación.- Acción de producir materiales orgánicos e inorgánicos descartados por el hombre durante las realización de sus actividades.

Almacenamiento.- Retención de residuos sólidos en un recipiente seguro y adecuado en espera de ser recolectado por el servicio de limpia.

Recolección.- Acción de tomar los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento.

Transferencias.- Acción de transferir los residuos a unidades de mayor capacidad y transportarlos a plantas de tratamiento.

Tratamiento.- Un porcentaje de residuos en la planta de selección se va como rechazo a los sitios de disposición final y el restante se transforma (reciclamiento, descontaminación u otras alternativas como incineración, pirólisis o la elaboración de composta).

Disposición final.- La ordenada colocación y distribución de los residuos sólidos en sitios preparados para tal fin, denominados rellenos sanitarios.

2.2 Desechos Plásticos.

Toda producción lleva consigo la generación de subproductos o desechos, de la misma forma el consumo crea residuos industriales o urbanos, por ello se tiene un crecimiento constante en la cantidad de basura y desechos, además de esto, los plásticos son los elementos más visibles porque son los más ligeros y se dispersan e identifican mejor.

El plástico ha modificado patrones de consumo, sustituyendo en muchas aplicaciones a materiales como vidrio, metal y papel, lo que propicio una gran cantidad de materiales plásticos se convirtieran en basura; y en consecuencia se genere un volumen muy grande de desechos que no se degradan naturalmente.

De las 950 Ton al día de desechos plásticos, se sabe el 60% proviene de las casas y está constituido principalmente por bolsas de basura, empaques, botellas y envases de bebidas, shampoos, detergentes líquidos etc. Los comercios contribuyen por su parte con un 10% de los desperdicios plásticos totales de la zona metropolitana, la industria alimenticia, la de cosméticos y la de productos de limpieza generan otro 10%, la industria transformadora 15% y el restante 5% se genera cuando se extrae la materia prima.

Debido a la procedencia tan diversa de estos materiales, ha sido difícil su sistematización, por ello una clasificación aceptada, es la que está en función de la naturaleza del residuo y divide a los desechos plásticos en urbanos e industriales.

2.2.1 Desechos plásticos Urbanos

Una familia genera desperdicios plásticos constituidos principalmente de bolsas, películas de empaque, botellas y envases de bebidas, detergentes líquidos, shampoos y otros artículos, que cuando se desechan contaminan y para su reciclaje se requiere separarlos y lavarlos.

El comercio contribuye con el 10% de los desperdicios y se integra por supermercados, tiendas, cines, restaurantes. Esta fuente desecha películas termoencogibles, utilizadas en el embalaje de las cajas, así como empaques de poliestireno expandible usado para frutas, verduras y protección de aparatos domésticos. También se desechan botellas de bebidas, vasos, bolsas y envolturas de botana.

Los residuos sólidos urbanos contienen la mayor parte de plástico a eliminar, pero presentan mayor dificultad para su separación y reciclado que los residuos industriales, por lo tanto, será necesario desarrollar más los equipos y sistemas, ya que los que existen son sobre todo para las operaciones de separación y reciclado.

2.2.2 Desechos plásticos industriales

La industria alimenticia, cosmética y la de productos de limpieza, generan desechos plásticos derivados del empaque de sus materias primas, y de sus líneas de envasado contribuyen con el 10% del total de desperdicios. Estos desperdicios se contaminan con los productos que los contiene y su reciclado se complica.

Estos desechos se producen a lo largo de todas las etapas de proceso, es decir, en la producción o síntesis de las resinas plásticas, en la formulación de las mismas o en la transformación de las resinas para obtención de productos semiacabados, esto como consecuencia del recorte de los bordes del film o lámina, de recortes de troquelado, de los bebederos de inyección, de sobrantes en los moldes, y durante la operación de embobinado en el proceso de extrusión.

En la industria transformadora, cuando se moldea por inyección se generan las coladas y eventualmente piezas defectuosas, así como purgas por cambio de material.

Con la extrusión se generan menos desperdicios, siendo sólo purgas y desperdicio durante el arranque, cuando hay piezas defectuosas es más fácil su recuperación, ya que se pueden partir y moler posteriormente.

En soplado hay material de desperdicio en el arranque y purga, presenta una problemática parecida al proceso de extrusión y las piezas defectuosas se tratan de igual forma.

Es muy común observar que estos desechos se utilicen en la misma empresa para productos de menor calidad y desde el punto de vista de reciclado y recuperación, son los más interesantes, ya que el residuo homogéneo se reutiliza al mezclarlo con resina termoplástica virgen.

Los fabricantes de materias primas generan un 5% durante la purga y limpieza de los reactores, estos residuos tienen grandes dimensiones, por lo que son difíciles de moler y procesar.

Así por ejemplo en la producción de resinas sintéticas, hay residuos constituidos por lotes defectuosos que no se ajustan a especificaciones (0.5-1%) de lo producido y, por otra parte los debidos a errores cometidos en la dosificación de aditivos, pigmento o degradación del polímero durante la formulación.

2.3 Manejo de desecho plástico.

El desarrollo tecnológico, la explosión demográfica, el uso cada vez mayor de energéticos y recursos naturales, el consumo excesivo de productos superfluos, prescindibles y desechables, ha tenido como consecuencia la generación incontrolada y la acumulación de residuos, ahora la sociedad moderna se está enfrentando a una crisis, se cuestiona ¿cómo eliminar los residuos sólidos que están generando?. Los plásticos en general representan aproximadamente un 7% en peso y un 20% en volumen de los residuos sólidos totales. No obstante, estos porcentajes relativamente modestos representan grandes cantidades cuando se asocian con la gran visibilidad de los mismos en la basura.

Así se establece que para poder seleccionar un tratamiento, es imprescindible conocer las características cuantitativas y cualitativas de los residuos y, para contribuir de manera positiva se perfilan seis opciones viables para el manejo de desecho plástico.

2.3.1 Reducción de origen

De acuerdo al principio de que la mejor solución a un problema es atacarlo de raíz, surge este concepto de reducción el cual ha sido interpretado de muchas maneras, algunos lo asocian con la idea de que los plásticos deben ser reemplazados por otros materiales. Otros que sólo reducir la cantidad de plástico en una determinada aplicación. Así es importante saber que la energía requerida para producir envase de plástico, es menor que para la mayoría de los otros tipos de envase.

El estudio del alemán Gessllschaft (1987) "Empaque sin plásticos", demostró que al remplazarlos por otros materiales para empaque resultaría un 300% de incremento en el peso, 150% en volumen, 100% en energía consumida y 100% en el costo del material de empaque. Otro ejemplo se tiene en las aerolíneas que comentan reducen sus facturas en miles de dólares utilizando plástico en lugar de vidrio en las botellas de bebidas, se estima que en países del primer mundo se tiene un 3% de descomposición de alimentos debido a un inadecuado empaque, pero un terrible 30% en países en desarrollo.

Por otra parte una propuesta para lograr una reducción de origen, sería por medio de una legislación adecuada, de imposición de impuestos a determinados productos, de implementar campañas intensas e ininterrumpidas de concientización a través de los medios de comunicación y en las escuelas para restringir los productos plásticos, los artículos desechables o alargando el tiempo de vida útil del artículo mediante aditivos y sistemas de reestabilización.

2.3.2 Reutilización

Significa recuperar el hábito de la máxima "reutilización" de los desperdicios, la existencia de productos de óptima calidad y máxima durabilidad, tender a reorientar los procesos productivos y la eliminación de la cultura del desechable, generando una conciencia social que se responsabilice de las implicaciones de la utilización de los productos desechables.

Para el uso de los envases, las políticas que se pueden seguir son las de disminución del peso y el volumen para productos de uso frecuente, y en lo relativo a la reutilización uno de los factores importantes es el usar envases resistentes y ligeros, y que los productos que van a ser usados no deben ser de fácil descomposición o adulteración.

En México la reutilización se está experimentando con las grandes empresas refresqueras con sus botellas retornables de polietileno tereftalato PET (capacidad 1.5 y 2 lt).

2.3.3. Vertederos (Dispositivos de relleno sanitario)

El vertedero, es actualmente el método más común de eliminación de residuos plásticos en la mayoría de los países. Requiere de una selección del terreno adecuada así como de un estudio de impacto ambiental.

El espacio para vertederos se está agotando, por ello se han introducido legislaciones haciendo un llamado para reducir los residuos plásticos en los mismos, la construcción de los nuevos deben cumplir requerimientos sobre lixiviación y por lo tanto, sobre contaminación de aguas; esto es los plásticos son materiales inertes que no se descomponen ni producen gas metano en los tiraderos,

y si son prensados ocupan poco espacio en el relleno sanitario, pero con el paso del tiempo, los aditivos y estabilizadores que contienen pueden pasar a formar parte de esos lixiviados, creando un peligro potencial para los acuíferos subterráneos.

Este método es usado para aquellos desechos a los que no se les puede dar otro destino o tratamiento de recuperación.

2.3.4 Degradabilidad

Normalmente los plásticos son estables en el medio ambiente, sin embargo, pueden volverse un poco más degradables si se incrementa su sensibilidad a diferentes elementos del medio, tales como temperatura, tierra, oxígeno, agua, microorganismos y luz ultravioleta. Existen muchos datos sobre la conveniencia de estos procesos de degradación, que por otra parte pueden inducir a elevar los costos de reciclaje.

Los plásticos biodegradables y fotodegradables han recibido recientemente más publicidad de la merecida, pero no se cree sea una opción con impacto significativo en el manejo de desechos plásticos.

Estos plásticos se dice alientan la producción de basura, requieren nuevos vertederos, interfieren (si no prohíben) el reciclado y llevan a una total pérdida de su contenido en energía.

Actualmente se lleva a cabo una gran cantidad de investigaciones para precisar las ventajas y desventajas de volver degradables a los plásticos, hasta hoy estos desarrollos no predicen un brillante futuro, pero habrá aplicaciones especiales donde los degradables específicamente, puedan existir, por ejemplo en el mercado de empaque, agricultura, aplicaciones de corto tiempo.

2.3.5 Incineración

Es un proceso de reducción de peso y volumen de residuos, mediante la combustión controlada en presencia de oxígeno, donde se aprovecha la energía generada para recuperarla en forma de agua caliente, vapor o electricidad.

En la incineración con recuperación de energía se involucran materiales de un alto valor energético como los plásticos que al ser derivados de hidrocarburos tienen un elevado contenido de energía por unidad de masa sobre cualquier otro material utilizado para envase.

Las poliolefinas tienen un contenido calorífico de 43.3 MJ/kg, casi se equipara al de los aceites combustibles 44 MJ/kg, es superior al carbón 29 MJ/kg y no puede compararse con la madera 16 MJ/kg o papel 14 MJ/kg.

La incineración reduce un 90% el volumen de los residuos plásticos y un 70% en peso.

En los hornos incineradores de residuos sólidos se ha llegado en muchas ocasiones al límite para la aceptación de los residuos plásticos, ya que se emiten dioxinas y furanos, y la única solución es reemplazar los hornos antiguos por incineradores de tecnología moderna que trabajen a temperaturas mayores de 1300 °C y sirven de fuente calorífica para la operación de plantas termoeléctricas.

A pesar de los estrictos sistemas de control y limpieza de los residuos gaseosos producidos por la combustión, siempre hay emisión de contaminantes hacia la atmósfera. Es materialmente imposible evitar que pequeñas cantidades de ciertos metales, de gases ácidos, de dioxinas y furanos lleguen al medio ambiente con los consecuentes efectos contaminantes, por otra parte hay que disponer de las cenizas residuales en los rellenos sanitarios.

También hay que mencionar que estas instalaciones de conversión son muy caras.

Como algunas porciones de plástico post-consumo no pueden ser recuperadas económicamente hablando con la técnica que existe (residuos peligrosos), se optó por recurrir a la incineración con recuperación de energía que se prefiere contra el depósito o confinamiento.

Para desechos hospitalarios (jeringas, sueros, etc.) y/o sanitarios se hace un control más estricto de las emisiones, se monitorea.

En esta era con los temores de la opinión pública relacionados con la construcción y funcionamiento de nuevos incineradores, ha ocasionado que ésta sea una solución política difícil de adoptar, sin embargo será un factor importante para la eliminación de residuos de plástico en el futuro.

2.3.6 Reciclado

El reciclado, es el proceso en el que los materiales o artículos se recuperan y tratan con el fin de conseguir algún beneficio o producto adicional a partir de un producto inservible o un desecho.

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

No se sabe con certeza los inicios del reciclado de plásticos, pero posiblemente las industrias transformadoras empezaron a reciclar las piezas defectuosas que obtenían durante su producción, y posteriormente determinaron que mezclándolas con material virgen podían obtener partes moldeadas de buena calidad.

En el año 1970, inicia el desarrollo del reciclado de plástico debido a que el precio de resina virgen aumentó. Posteriormente un desabasto de materiales contribuye al desarrollo como consecuencia del embargo petrolero. Por ello se desarrollaron tecnologías de recuperación para solucionar el problema.

Más tarde con el objetivo de encontrar soluciones para los desechos plásticos, se desarrollaron investigaciones que incluían métodos físicos y químicos. Los métodos físicos consisten en sistemas para lavado, separación, molienda, fusión y granulado y los métodos químicos que no han prosperado fuera del laboratorio, como el proceso de pirólisis que aprovecha el poder calórico de los materiales plásticos o el proceso de hidrólisis que sirven para depolimerizar las moléculas de plásticos como el PET.

De los métodos físicos nace el reciclado que cobra importancia en los años 80's donde surgen mercados y aplicaciones aparece una nueva opción de negocio. En los 90's, se desarrollan centros de acopio donde se recolectan diversos materiales para facilitar su transformación posterior. Se crea un proceso más sistematizado, con ello el número de empresas recicladoras se incrementa y se propagan alrededor del mundo.

Las industrias requieren un plástico con las siguientes características: este limpio, seco, sin grapas, en paca flejado y prensado de 900 kg, clasificado por tipo de material, sin pintura ni etiquetas y sin mezcla de otros residuos.

Los polímeros más usados en reciclado son : PET, PEAD, PP, PS Y PVC.

Como limitante los procesadores, no deben utilizar este material para fabricar envase de alimentos, ya que pueden migrar contaminantes del envase al producto.

a) Reciclado Mecánico

Con el reciclado mecánico, el producto al finalizar su ciclo de vida es clasificado, molido, lavado y si es necesario se regranula y aditiva para obtener o cambiar propiedades específicas. Se usa máquina y equipo especial. Después de estas operaciones, el producto está disponible en forma reprocesable tal como reciclado o regranulado. Y puede trabajarse mezclado con resina virgen en el porcentaje adecuado de acuerdo a la aplicación o a la calidad que se quiera obtener del producto final.

Los procesadores de plástico han empleado su basura o desperdicio para la operación de reciclado, moliendo y alimentando el material a su proceso nuevamente, es una operación

relativamente simple desde que la producción de basura tiene propiedades similares al material virgen y no está contaminada.

Las etapas del proceso de reciclado, dependen en gran medida de las condiciones del material a procesar, de lo contaminado que esté y de la homogeneidad del mismo. Así el proceso consta de las siguientes etapas:

Colección

Esta etapa es de suma importancia en el proceso, ya que de acuerdo a la calidad y homogeneidad del desecho plástico será el plástico reciclado obtenido, por ello es importante la participación de centros de acopio para que de ser posible se trabaje con materiales que cuenten con las mejores características. En estos centros se hace una separación manual, es una labor intensiva y cara, por ello sería recomendable investigar por ejemplo el desarrollo de un detector de propiedades, o un código de barras, un indicador espectrográfico o una señal NMR que minimicen esa labor.

Así por ejemplo se muestrea un lote de PP proveniente del centro de acopio, se verifican sus propiedades en el laboratorio de control de calidad y si cumple con los estándares se acepta.

Clasificación

Se usa para materiales de envase un código que indica el tipo de plástico para una fácil separación de los mismos por la ciudadanía. Es una operación manual no hay tecnología aún. Los termoplásticos se identifican por el número que aparece dentro del logotipo de reciclaje, así al PET le corresponde el número 1, al PEAD el 2, al PVC el 3, al PEBD el 4, al PP el 5, al PS el 6 y el 7 a las demás resinas y materiales multilaminados, a productos que tienen bajas especificaciones como es el caso de defensas de autos.

Molienda

El objetivo principal es tener un tamaño de alimentación adecuado al extrusor, y se tienen 2 tipos:

1) Convencional

Los residuos plásticos tienen que molerse a tamaños próximos al del material virgen. Esta operación se realiza en una tolva, con cámara de cortado, criba y un motor. Dependiendo del grado de contaminantes puede ser molienda húmeda o seca.

En la molienda húmeda se tratan basuras pesadas ya que además de moler el material, se presenta una turbulencia alta en la cámara de corte dando como resultado un intenso lavado y un desgaste menor en la cuchilla. Esta operación también es efectiva para mezcla de plásticos.

La molienda seca es seguida de la clasificación por aire para extraer los contaminantes. Las partículas finas contaminantes que se crean pueden removerse en separadores de fricción instalados después de la molienda, estos separan el papel adherido y remueven el agua de lavado.

2) Criogénica

Con la molienda criogénica se obtienen partículas de menor tamaño y mayor homogeneidad, pero es un proceso más caro ya que necesita nitrógeno líquido (LIN). En esta molienda los desperdicios plásticos, se transportan al molido en un medio refrigerante a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. El LIN almacenado a $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 1.7 kg/cm^2 se transfiere a líneas de transporte aisladas, para enfriar el polímero, después el material entra al molino y se reduce a polvo para ser transportado después a un silo.

Cuando se trata de films o película, es necesario que se compacte antes de transportarse para lograr una mayor fluidez y no tener ningún problema al alimentar el extrusor.

Compactación

Se aplica a los desperdicios de película, fibras y materiales espumados. El funcionamiento de un compactador se basa en impulsar el material con un movimiento centrífugo y crear con el movimiento de las cuchillas fricción y semiplastificación. Después se introduce agua y se crea agrietamiento y solidificación del material regranulado. Por otra parte, es de importancia la extracción de vapor antes de descargar el material centrifugado.

Pelletización

La pelletización es una extrusión en la que se busca obtener gránulos o pellets de polímero en tamaño y forma homogéneo, además con la adición de aditivos como estabilizadores y antioxidantes se pueden mejorar las propiedades.

Se extruye con un dado especial a base de un plato perforado con orificios de aproximadamente 2 mm de diámetro, el plástico sale fundido y homogeneizado para posteriormente ser cortado.

Como productos semifinales se tienen hojas, perfiles, films o pueden dirigirse a máquinas de moldeo por inyección o soplado y manufacturar producto final. Cuando el corte se hace con

cuchillas en la cabeza del dado, se denomina pelletizado en caliente y cuando se forman tiras que se enfrían en tinas de agua y después se cortan, se llama pelletizado en frío.

La plastificación y homogenización son etapas importantes en cualquier extrusión, pero en reciclado la desgasificación y filtración de masa fundida son operaciones anexas con la misma importancia que las dos mencionadas anteriormente.

El secado de los materiales termoplásticos en pellet o en polvo hecho con secadores antes del moldeo, es una operación necesaria que tiene un costo adicional al proceso.

La experiencia positiva de desgasificar los polímeros en estado fundido, ya realizada años atrás por los extrusores continuos de un sólo husillo, se ha extendido a los cilindros de plastificación en las máquinas de inyección. El uso de un cilindro especial con un husillo de 2 zonas permite la plastificación de los materiales no secados, que contienen humedad y sustancias volátiles en cantidad superior a las normas.

La humedad contenida en el material, se elimina durante la plastificación en forma de vapor que sale por un agujero a través de la pared del cilindro. Son cilindros especiales con sistema de desgasificación.

La filtración de fundido se usa para tamizar los contaminantes sólidos que permanecen sin plastificar.

b) Reciclado Químico

Con este reciclado, se obtiene la descomposición térmica de los plásticos, aplicando alta presión y temperatura en los productos intermedios o en las sustancias petroquímicas de partida, se obtiene materia prima para fabricar polímero virgen (etileno, benceno, tolueno, xileno, etc). Los procedimientos englobados bajo este concepto son la pirólisis, hidrólisis e hidrocracking.

La pirólisis tuvo inicios en los 70s, cuando pioneros de la Universidad de Hamburgo desarrollaron su tecnología trabajando con un reactor de lecho fluidizado en sistemas de basura orgánica. En este proceso las grandes cadenas se calientan en ausencia de oxígeno y se rompen en pequeñas moléculas.

Se usan altos hornos, hornos rotatorios, reactores de lecho fluidizado, autoclaves.

La pirólisis del PP se trabaja a 700 °C y se obtiene hasta un 50% de eficiencia.

Sin embargo, debido a que las industrias petrolíferas y petroquímicas operan a gran escala, el residuo obtenido de esta manera no puede competir económicamente hablando con la materia virgen al menos en estos tiempos.

Otros métodos bajo consideración son la hidrogenación e hidrólisis, que requieren de inversiones substanciales y sus economías son cuestionables. Un ejemplo importante es el polietileno tereftalato (PET), que sujeto a metanólisis produce etilenglicol y dimetil tereftalato, los monómeros recuperados de esta forma han sido utilizados para la producción de nuevos polímeros o incluso para producir botellas para refrescos con aprobación FDA.

C A P Í T U L O 3

GENERALIDADES DEL POLIPROPILENO

GENERALIDADES DEL POLIPROPILENO

El polipropileno es un termoplástico parcialmente cristalino perteneciente a la familia de las poliolefinas, su fórmula molecular es $(C_3H_6)_n$. Es un material muy usado en nuestros días, ya que la combinación de su economía, baja densidad, alta temperatura de ablandamiento, alta dureza, buena claridad y excelente resistencia química proporcionan una variedad de aplicaciones.

Es el termoplástico más cristalino (72-73%), por ello durante el proceso de solidificación, la estructura cristalina se contrae desde el estado amorfo en un valor que según las condiciones va desde el 2.2. hasta 2.8%. Esta estructura le proporciona un excelente balance entre la rigidez, tenacidad y la dureza.

El PP es un material que se quema con una flama azulosa formando gotas, por lo que se clasifica como un material del tipo HB (de fácil combustión).

Una desventaja del polipropileno homopolímero, es su pobre resistencia al impacto enfatizado a bajas temperaturas y su poca resistencia al calor y luz ultravioleta ya que lo degradan, sin embargo estas deficiencias pueden superarse con el uso de estabilizadores térmicos y de luz UV. Las aplicaciones que requieren la exposición prolongada a altas temperaturas son formulaciones particulares.

3.1 Historia.

En 1954 G. Natta al continuar con los trabajos de K. Ziegler, desarrolló un catalizador para obtener polipropileno de estructura muy regular denominado isotáctico. Este polímero tiene un alto grado de ordenamiento y cristalinidad, además de buenas propiedades mecánicas y resistencia térmica. Pero se comercializó en Europa y Norteamérica hasta 1957, se usó en la fabricación de enseres domésticos. Este material también se conoció como polipropileno homopolímero, pero no cubría aún propiedades como resistencia al impacto; por ello en los años 60s se desarrolló el polipropileno copolímero, formado de etileno y propileno, que tiene mayor resistencia y mantiene las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas de un homopolímero.

Con la idea de mejorar las propiedades mecánicas surgieron grados modificados que contienen cargas como fibra de vidrio, carbonato de calcio, talco o mica y hacen del PP un excelente material en piezas de ingeniería y electrodomésticos, presentando menor costo que el (ABS), nylon y poliéster.

El PP homopolímero es semicristalino y tiene una aplicación limitada en el mercado de empaque y envase, por esa razón se desarrolló el PP random clarificado que combina las propiedades del PP normal con una excelente transparencia.

En la importante industria automotriz, se usa por ejemplo una mezcla de PP con hule de monómero de etileno-propileno-dieno (EPDM), denominado hule termoplástico (TPO); quien presenta propiedades similares a las del hule, pero con la ventaja de poder procesarse como un termoplástico.

Los estudios de Hans Sinn y Walter Kaminsky en 1976 se enfocaron a los metallocenos, sustancias que podía actuar como catalizadores eficientes en la polimerización del etileno. Más tarde vieron que el PP necesitaba un catalizador en donde se ejerciera un control completo, por ello sus trabajos de metallocenos se orientaron a esa área. Y no es hasta 1984 cuando Kaminsky y Hans Brintzinger de Alemania, obtuvieron metallocenos de alta actividad química y buena selectividad. Algunos se especializaron en la producción de PP isotáctico y otros para PP sindiotáctico, aunque este último no se conoce comercialmente.

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

- Polipropileno Homopolímero
- Polipropileno Copolímero Impacto
- Polipropileno Copolímero Random
- Polipropileno Modificado
- TPO (PP mezclado con EPDM)

Con todo lo anterior se ve como el polipropileno se ha desarrollado de tal manera que ha ganado una posición de liderazgo en el mundo como comoditie y actualmente en campos de ingeniería, así después del polietileno y cloruro de polivinilo, es el tercer material plástico más consumido a nivel mundial.

3.2 Variables de desempeño.

Son cuatro variables básicas las que definen las características del polipropileno y son: tipo de resina, peso molecular, distribución de peso molecular y formulación con aditivo.

a) Tipo de resina.

De acuerdo al tipo de resina se tienen 3 tipos de PP; homopolímero, copolímero y copolímero random.

El homopolímero contiene un sólo tipo de monómero, propileno; el copolímero random se le introduce un pequeño porcentaje de etileno al homopolímero y el copolímero impacto que se produce por la adición de hule modificado al mismo.

b) Peso molecular

Para todos los polímeros es una variable importante. Es el inverso del índice de fluidez y en general se le relaciona con la dureza del polímero. Una excepción de esta ruta son los grados controlados reológicamente.

Para inyección se requiere por ejemplo polímero de bajo peso molecular y, por lo tanto, de un alto índice de fluidez (12 o más) para dar menos viscosidad al flujo y alcance a recorrer todo el sistema y el molde.

c) Distribución de peso molecular (Reología controlada)

El PP se divide generalmente en 2 clases y son la distribución de peso molecular convencional (MWD) y la reología controlada (CR).

La distribución de peso molecular no es un factor muy significativo en las propiedades y procesamiento del PP, pero sí para materiales como el polietileno de alta densidad, ya que tiene un valor muy pequeño comparado con las demás poliolefinas.

El parámetro que describe este concepto es el índice de heterogeneidad (HI o M_w/M_n), el PP tiene un valor de 4 HI.

Para la reología controlada se usan modificadores de viscosidad o polímeros de bajo peso molecular. El PP de reología controlada se dio a conocer comercialmente en los años 70s. El más común CR es el de índice de fluidez nominal 20 y 35, pero también se pueden desarrollar grados menores.

Para el moldeo por inyección, la primera ventaja en altos flujos en grados CR sobre los grados convencionales es que se obtienen paredes más delgadas en moldes más largos y también un producto con excelente dureza. Sin embargo, grados controlados reológicamente no tienen resistencia al impacto a bajas temperaturas. Por otra parte debido al alto flujo, las temperaturas de proceso pueden reducirse en grados controlados CR resultando un ciclo más productivo.

d) Formulación con aditivos

Debido a que la macromolécula de PP tiene un alto número de ramificaciones (grupos metilo), hay un alto número de hidrógenos terciarios que hacen un polímero muy susceptible al rompimiento. El PP se degrada a altas temperaturas en presencia de oxígeno, por ello los antioxidantes y otros estabilizadores se adicionan en la pelletización y previenen la degradación. El tipo de aditivo y su dosificación depende del área de desempeño y de los requerimientos de la aplicación final.

La estabilización del PP puede ser de 2 tipos: estabilización de procesamiento y estabilización térmica.

La primera es una medida del cambio de índice de fluidez cuando el polímero se procesa en una máquina. El PP incrementa su índice de fluidez (IF) en condiciones de calentamiento y alto corte, este cambio se relaciona con tiempo de residencia, temperatura de procesamiento y esfuerzo de corte. Cuando se tienen valores altos en estos parámetros se promueve una severa degradación que inicia con opacamiento y decoloración (amarillamiento para PP natural).

La segunda estabilización se tiene porque el PP soporta hasta cierto punto la luz ultravioleta sin aditivos especiales, pero cuando se expone a la intemperie puede dañarlo, siendo entonces necesario una formulación con aditivos.

3.3 Clasificación.

La clasificación del PP se tiene de acuerdo a las materias primas que lo conforman o a su estructura química.

1. Por Materias Primas
 - a. Homopolímero
 - b. Copolímero Impacto
 - c. Copolímero Random

2. Por estructura Química
 - a. Isotáctico
 - b. Sindiotáctico
 - c. Atáctico

3.3.1. Por Materias Primas

a) Homopolímero

El polipropileno se sintetiza partiendo del monómero propileno en presencia de un catalizador organometálico (trícloruro de titanio). El homopolímero se produce en varios grados de índice de fluidez y distribución de peso molecular.

Así por ejemplo valores de 2 a 5 gr/10 min. en índice de fluidez corresponden a los grados para raffia y película, este polímero puede mejorar en sus propiedades mecánicas y físicas, originando grados modificados producidos al reforzar el PP con cargas como fibra de vidrio, carbonato de calcio, talcos o agentes nucleantes.

En los últimos diez años se han desarrollado las poliolefinas termoplásticas (TPO), materiales muy usados en la industria automotriz. El TPO es una mezcla de PP con hule de etileno-propileno-dieno (EPDM), que se adiciona en diferentes cantidades. A pesar de ser una mezcla de plástico semicristalino con elastómero amorfo, se puede procesar en equipos convencionales para termoplásticos.

b) Copolímero Impacto

Para elaborar el copolímero, el PP se pone en contacto con etileno y un catalizador de tercera o cuarta generación. Si se desea incrementar la resistencia mecánica se adiciona EPDM.

c) Copolímero Random

Este tipo de polímero se origina al adicionar 1.5-3.5% de etileno y un catalizador menos estereoespecífico, pero más activo para lograr un mayor rendimiento de PP atáctico. La combinación de PP isotáctico, atáctico y etileno es lo que origina el PP random.

3.3.2 Por estructura Química

La estereo-regularidad (tacticidad) en las cadenas lineales es función del orden en que estén colocados los grupos metilos laterales, así como del catalizador y proceso de polimerización, originando entonces tres tipos de ordenamiento en la estructura molecular: isotáctica, sindiotáctica y atáctica.

a) Isotáctica

Se caracteriza por tener una sola posición estereoquímica de los radicales metilo a lo largo de la cadena, por lo que al alinearse con la siguiente cadena no quedan huecos que le resten estabilidad al polímero, obteniendo altos valores en propiedades mecánicas y térmicas.

b) Sindiotáctica

En esta estructura los radicales metilo están alternados a todo lo largo de la cadena, de manera ordenada estereoquímicamente, pero el que estén alternados es una desventaja, porque en cuanto la siguiente cadena se alinie, se forman pequeños huecos en la estructura, que es lo que le resta estabilidad al polímero.

c) Atáctica

En el PP atáctico, los radicales metilo se encuentran al azar a lo largo de toda la cadena, y al alinearse todas las cadenas forman demasiados huecos en la estructura, lo que se refleja en la disminución general de las propiedades. Son moléculas amorfas.

3.4 Propiedades.

El polipropileno es un polímero termoplástico con gravedad específica de 0.90. El PP homopolímero presenta alta resistencia a la temperatura, puede esterilizarse por medio de rayos gamma y óxido de etileno, tiene buena resistencia a los ácidos y bases a temperaturas menores de 80 °C. Posee buenas propiedades dieléctricas, su resistencia a la tensión es excelente en combinación con la elongación, su resistencia al impacto es buena a temperatura ambiente, pero a temperaturas por debajo de 0 °C se vuelve frágil y quebradizo.

El polipropileno copolímero es resistente a bajas temperaturas, es más flexible que el homopolímero, tiene más resistencia al impacto y al modificarse con EPDM, incrementa su resistencia a la tensión y su elongación; sin embargo la resistencia química es inferior. Luego entonces, las propiedades de ambos son parecidos, con la única diferencia de que el PP copolímero, posee una mayor resistencia al impacto y el homopolímero mejor resistencia a la temperatura.

Las propiedades más sobresalientes del copolímero random son el incremento en transparencia, flexibilidad y resistencia al impacto. Posee un índice de fluidez desde 1 gr/10 min. para soplado

hasta 30 gr/10 min. para inyección. La resistencia al impacto varía de 5.4 a 27 kgcm/cm y soporta productos químicos como ácidos, alcoholes y solventes hidrocarbonados.

El PP se puede mezclar con algunos materiales elastoméricos como el hule monómero dieno de etileno propileno (EPDM), con hule de copolímero etileno-dieno (EPR) o con los diferentes tipos de polietileno (PEBD, PEAD). El desempeño mecánico de estas mezclas depende de la miscibilidad termodinámica y morfológica de los cristales de los componentes poliméricos.

Para la mezcla de PP/PEAD, es necesario adicionar un agente compatibilizador como los copolímeros de EPR o EPDM. Las mezclas de PP proporcionan mejores propiedades en cuanto a resistencia al impacto y elongación.

3.4.1 Propiedades físicas

a) Parámetros moleculares

Doble enlace//1000 átomos de carbono	menor 1
Tipo de insaturación	vinilideno
Peso molecular Mw	220,000 - 700,000

b) Densidad

Es útil para determinar la cantidad de materia prima que se va a emplear en la fabricación de un artículo determinado.

El PP en comparación con el polietileno, tiene una densidad más baja, permitiendo que su rendimiento en producción sea mayor. Su rango de densidad es de 0.89 a 0.91 g/cm³ es uno de los termoplásticos más ligeros.

c) Volumen específico

Forma	Amorfo	Cristal
PP isotáctico	1.176	1.07 (cm ³ /g)
PP sindiotáctico	1.160	1.11 (cm ³ /g)

d) Punto de fusión

Sindiotáctico	138 °C
Isotáctico cristalino	186 °C

e) Índice de refracción

$$n_{25}^d \quad 1.49$$

f) Absorción de agua

El PP no absorbe humedad, mantiene buena estabilidad dimensional, incluso en ambientes altamente húmedos debido a su estructura no polar, es un material hidrófugo.

g) Permeabilidad

El polietileno de baja densidad (PEBD) es 7 veces más permeable que el de alta densidad (PEAD), mientras que el PP presenta una permeabilidad intermedia. Sus propiedades no cambian al estar en condiciones de humedad. En la tabla 2 se muestran permeabilidades.

Tabla 2 Permeabilidad del PP

Temperatura	25 °C	50 °C
Vapor de agua g/ cm ² día	2.1	19
N ₂ g/ cm ² bar	430	2800
Aire	799	3600
O ₂	1900	9200
CO ₂	6100	27300

h) Contracción de moldeo

Depende fundamentalmente de la temperatura del molde, del tipo de resina y del tiempo de sostenimiento. El rango de contracción de moldeo es de 1 a 2% para el PP.

i) Índice de fluidez

Es un indicador del comportamiento del material en estado de masa fundido. Da información acerca de la viscosidad, de las características de flujo y de las propiedades mecánicas del polímero. Un índice de fluidez alto indica un alto flujo de la masa fundida y baja viscosidad de la masa fundida y por tanto baja generación de calor en el extrusor.

En la tabla 3 se ven datos para PP copolímero random.

Tabla 3 PP random índice de fluidez vs peso molecular

MI (230 °C, 2.16 kg)	MW (g/grmolx 10 ⁻³)
22.8	142
7.3	180
3.5	220
1.2	292
0.39	358

j) Dureza

La alta dureza del PP contribuye a un buen rasgado y resistencia a la abrasión.

Escala Rockwell 70-95

3.4.2 Propiedades mecánicas

Estas propiedades están en función del peso molecular y del grado de cristalinidad.

a) Resistencia a la tensión

La resistencia a la tensión del PP incrementa considerablemente durante el proceso de fabricación de películas, raffia o cuerda, y tiene un valor de 369 kg/cm²

b) Elongación

El PP tiene un excelente rango de elongación, fluctúa entre 400 y 430% utilizando cargas de 300 a 400 kg/cm² por lo que se usa en la fabricación de película y crea la posibilidad de un estiramiento en dirección máquina (MD) y transversal (TD). Para raffia y cuerdas, solamente se hace estiramiento MD, que es de 6 a 8 veces mayor del tamaño inicial.

c) Resistencia al impacto

La resistencia al impacto del PP es de 6.8 a 8.116 kgcm/cm., por lo que se emplea para fabricar carcasas de electrodomésticos, portafolios, aspas para lavadoras y botellas.

Es importante señalar que para el copolímero random esta resistencia varía de 5.44 a 27.2 kgcm/cm.

d) Resistencia a la flexión

El PP es un material semi-rigido, su resistencia es de 600 kg/cm^2 , se utiliza en la fabricación de carcasas de aparatos, cajas y contenedores de alimentos.

e) Módulo de flexión

Es una medida de la rigidez del material, los grupos metílicos son los que la dan en gran medida, por ello puede utilizarse en la manufactura de popotes, de cerdas de escoba, etc., tiene un valor de $17,575 \text{ kg/cm}^2$

f) Resistencia a la compresión

Esta propiedad indica la carga que soporta un plástico antes de deformarse, el PP presenta un valor de 500 kg/cm^2 , con esto es posible la inyección de sillas y soportes para muebles.

3.4.3 Propiedades térmicas

a) Calor de fusión

Forma isotáctica 209 KJ/kg

Forma sindiotáctica 50 KJ/kg

b) Capacidad calorífica

Forma isotáctica 1.8-1.9 KJ/kgK

Forma atáctica 2.3 KJ/kgK

$C_p = 4.187 (0.3669 + 0.00242T) \quad T = ^\circ\text{C}, T \text{ mayor de } 140 \text{ } ^\circ\text{C}$

c) Temperatura de reblandecimiento Vicat

Esta temperatura predice de forma aproximada la estabilidad de forma frente al calor en piezas de plástico. El PP presenta resistencia a la temperatura por periodos cortos sin deformarse y puede esterilizarse con rayos gamma y óxido de etileno. Su temperatura de reblandecimiento es 95-115 $^\circ\text{C}$.

d) Temperatura de deformación bajo carga

Este material a 110 °C soporta 4.5 kg/cm², se utiliza en la fabricación de piezas mecánicas como engranes, freidoras. A 55 °C soporta una carga de 18.5 kg/cm² pero si se refuerza con cargas soportará hasta 150 °C

e) Conductividad térmica

El PP presenta un valor muy pequeño de conductividad y es 11.7 W/mK

f) Resistencia al calor continuo

Es la capacidad que presentan los plásticos para soportar elevadas temperaturas libres de esfuerzos mecánicos. De los plásticos commodities, el PP es el material que más resistencia posee por ello se utiliza en la inyección de acumuladores para automóvil.

3.4.4 Propiedades eléctricas

a) Constante dieléctrica

Es la capacidad de los materiales plásticos para almacenar la energía dentro de ellos. El PP es un material que casi no acumula energía, y puede ser utilizado en circuitos eléctricos y electrónico, tiene un excelente poder electroaislante.

(10 kHz a 1 GHz) 2.2.- 2.6

3.4.5 Propiedades ópticas

El PP por naturaleza es translúcido, su transmitancia es de 70 a 75 %, a pesar del valor bajo, las piezas moldeadas con este material sin pigmentar presentan mayor transparencia que las fabricadas de PEAD, esto se debe a que existe menor densidad en las zonas amorfas y cristalinas del PP, cuya densidad es de 0.85 g/cm³ y para el polietileno es de 0.94 g/cm³.

3.4.6 Propiedades químicas

El comportamiento que tiene el PP frente a los productos químicos lo determina su carácter no polar, así pues es resistente a la acción de muchos líquidos polares, tales como alcoholes, ácidos orgánicos, ésteres y cetonas. La acción de hidrocarburos alifáticos, aromáticos y halogenados causan degradación.

Es estable a las soluciones acuosas de sales inorgánicas así como a todos los ácidos bases inorgánicos a temperaturas de hasta 60 °C. Únicamente sustancias oxidantes como ácido clorosulfónico, oleum, ácido nítrico concentrado y los halógenos lo atacan a temperatura ambiente.

3.5 Aplicaciones

En este punto se darán las aplicaciones del PP de acuerdo a la clasificación por materias primas.

3.5.1 Polipropileno Homopolímero

a) Película cast y biorientada

Las propiedades del PP pueden cambiar significativamente por la orientación, entre éstas se tiene propiedades de barrera, esfuerzo de tensión, claridad, etc. La extrusión de fibras y de película cast son procesos en los que se le da al polímero esa característica de orientación.

La película cast presenta propiedades mecánicas menores a las obtenidas por el proceso de biorientación, pero al ser más fácil de obtener es más económica. Se usa para empaçar camisas y medias, tiene ventajas de impresión y sellabilidad. La película biorientada tiene ventaja en el envasado industrial de productos secos como botanas, galletas, pasteles etc.; debido a que las propiedades mecánicas, de barrera a la humedad y transparencia son superiores a cualquier otro método de obtención de películas.

b) Raffia

El Polipropileno Homopolímero es más rígido que el copolímero por ello es fácilmente orientable, e ideal para fabricar raffia, en este proceso se proporciona un estiramiento en dirección máquina, con el fin de disminuir su elongación y mejorar la resistencia a la tensión.

Se utiliza para tejer costales en los que se envasan productos como azúcar, sal, naranjas y papas.

c) Productos médicos

Como el Homopolímero tiene una excelente resistencia a altas temperaturas, se utiliza para fabricar jeringas e instrumentos de laboratorio, que deben esterilizarse en equipos autoclave.

3.5.2 Polipropileno copolímero Impacto

a) Sector consumo

Los artículos que cubren este segmento, tienen excelente resistencia al impacto y soportan bajas temperaturas, a diferencia del homopolímero. Las aplicaciones más comunes son en tubos y perfiles, juguetes, hieleras y cajas de uso industrial.

b) Automotriz

El copolímero alcanza fácilmente su temperatura de deformación y tiene también una excelente resistencia química por lo que se usa en acumuladores y tableros, por otra parte los altos grados de alto índice de fluidez se usan para crear molduras interiores de automóviles.

c) Electrodomésticos

El copolímero impacto mezclado con aditivos especiales se utiliza para carcazas de aparatos como cafeteras, batidoras, etc.

3.5.3 Polipropileno copolímero Random

Sus principales aplicaciones son en recipientes para comida, botellas y película cast.

a) Botellas

En el mercado de envase, la transparencia era limitante para el PP homopolímero, pero ahora con el PP random es posible esa aplicación y se encuentra en envases para vinagre, agua purificada, cosméticos, vacunas, etc.

b) Película

Debido a que tiene una temperatura baja de sellado, se utiliza en película de empaque.

c) Consumo

Se aplica en artículos donde se requiere transparencia. Su baja temperatura de fusión origina que sea fácil de procesar, cuenta con poca flexibilidad y se aplica para la producción de popotes y charolas.

C A P Í T U L O 4

DESCRIPCIÓN DE PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DEL POLIPROPILENO

DESCRIPCION DE PROCESOS DE TRANSFORMACION DEL POLIPROPILENO

El moldeado de plásticos que se practicó por muchos años fue hasta cierto punto empírico, actualmente se han descrito y analizado cada uno de estos métodos, pero desde un punto más teórico.

La reología de los polímeros juega un papel muy importante para la transformación, y se entiende como el estudio de la fluidez de los materiales plásticos en estado fundido, ha aclarado también las propiedades y el comportamiento de los mismos en los procesos de moldeado o de otros métodos de transformación (calandreado, etc.).

Cuando funde el plástico termoplástico disminuye su viscosidad en función de la temperatura y una vez alcanzado su punto de fusión, permanece constante durante un lapso de 10-20 min. En estado fundido este material tiene el más bajo valor de viscosidad y por consiguiente la más alta fluidez, y es capaz de permanecer en esta condición por varios minutos. Esta característica le permite al material poder inyectarse o extruirse.

La viscosidad de un polímero termoplástico en estado fundido, es una característica ligada a su peso molecular. Así un material de bajo peso molecular, por lo tanto, de baja viscosidad es adecuado para el moldeado por inyección de piezas delgadas o con superficies muy extendidas, por el contrario, los materiales de alto peso molecular, alta viscosidad serán apropiados para los procesos de extrusión o soplado.

Durante el proceso de inyección, la viscosidad de la masa fundida disminuye aún cuando se aumenta la temperatura (arriba del punto de fusión), es importante también el recorrido del material por los ductos (boquillas, canales de alimentación, ductos a las cavidades del molde) y tan pronto como la masa fundida llena el molde, se inicia la fase de enfriamiento, donde la viscosidad del polímero aumenta nuevamente hasta alcanzar la solidificación.

En este punto es importante denotar que las leyes de la dinámica de los fluidos (leyes de Newton), válidas para líquidos no compresibles (agua, aceite) no son aplicables a los materiales plásticos en estado fundido, porque estos son en general más viscosos y en cierta medida compresibles.

La viscosidad en los líquidos newtonianos tienen valores característicos para cada tipo de fluido, y disminuye linealmente con el aumento de temperatura. En los polímeros fundidos (fluidos no newtonianos), la viscosidad disminuye cuando se aumentan tanto la temperatura del polímero como la velocidad de flujo (velocidad de corte referida como diferencia de velocidad entre dos estratos adyacentes de fluido).

Para materiales como polipropileno, poliestireno, polietileno, tienen valores de viscosidad más constantes, o sea, menos dependientes de la variación de la temperatura de proceso. Para facilitar

el flujo de estos dentro del molde, en vez de aumentar la temperatura del cilindro de plastificación (con el riesgo de degradar el material), se puede aumentar la temperatura de moldeo (sección de alimentación).

4.1 Inyección.

El moldeo por inyección consiste en un sistema de fusión y mezclado de resina, diseñado para expulsarla a alta presión en estado fundido hacia un molde metálico, conformado de dos o más piezas, y cuya cavidad tiene la forma exterior de la pieza deseada y por medio de un sistema de cierre de molde, se impide éste se abra al recibir la presión interna del plástico fundido.

Es un proceso intermitente que produce piezas con superficies lisas con excelente resistencia y con la posibilidad de formar orificios o inserciones para partes metálicas. Además se crean piezas de gran exactitud en forma y dimensión, pero con el inconveniente de requerir un molde específico cuya estructura es costosa pero con la posibilidad de fabricar artículos con alto valor agregado.

4.1.1 Descripción del proceso

El funcionamiento de una máquina de inyección, se basa en un ciclo en el que entran en acción alternativamente las distintas partes de la máquina en una forma discontinua. Ver fig. 2

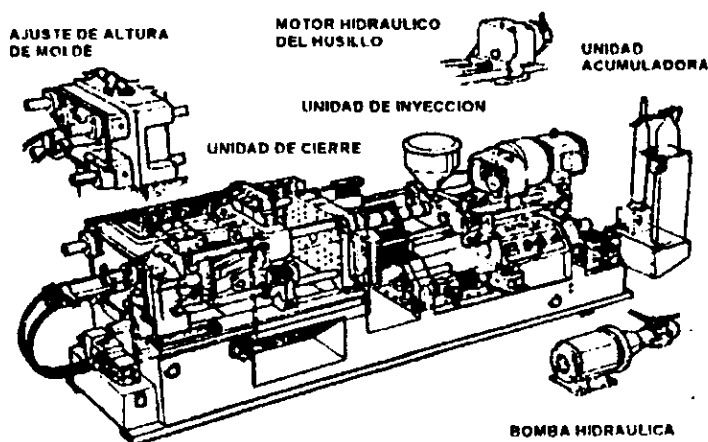


Fig. 2. Esquema de una Máquina de Inyección.

El material alimentado a la tolva en forma de pellets pasa al cilindro de la inyectora, donde por acción del giro del husillo se le aplican esfuerzos de fricción que generan calor que sumado con el que dan las bandas calefactoras, logran que el polímero funda. El husillo cumple también la tarea

de homogenizar y transportar el material hasta la punta de la unidad de inyección. El constante transporte de material, crea una presión en la parte frontal que es compensada con el retroceso del husillo y que toma una posición previa a la inyección. Cuando se acumula la cantidad necesaria para llenar las cavidades del molde, la unidad de inyección avanza hasta estar en contacto con el bebedero, que es el orificio que permitirá el avance del material fundido hacia el interior del molde, y perfectamente cerrado bajo la presión de la unidad de cierre, recibe el material al avanzar el husillo que funciona como un émbolo y empuja al fluido por la boquilla hacia el bebedero y de ahí al interior del molde llenando las cavidades y expulsando el aire que está contenido en ellas.

Cuando está lleno el husillo, mantiene una presión constante para evitar que el material que fue forzado a entrar regrese y se encoga la pieza al término del enfriamiento.

El sistema de enfriamiento, tiene la finalidad de solidificar la pieza rápido e iniciar otro ciclo en el menor tiempo posible en beneficio de la productividad del proceso. En la fig. 3 se representan las tres etapas principales de moldeo.

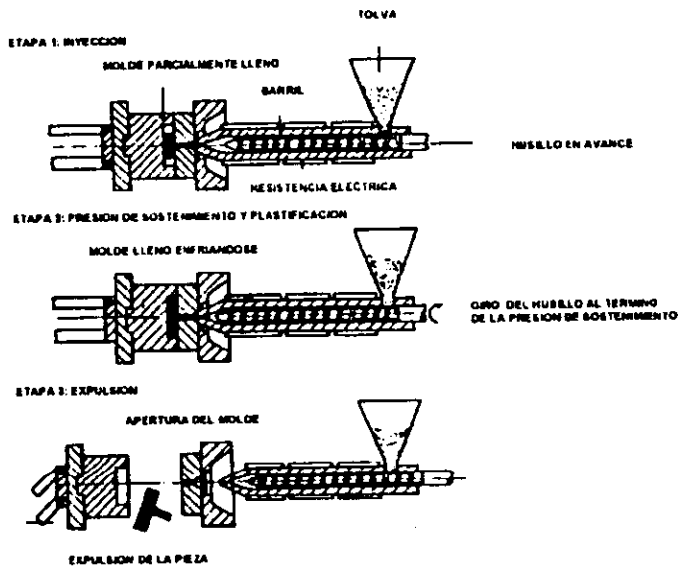


Fig. 3. Etapas de ciclo de Inyección.

4.1.2 Condiciones de operación

a) Perfil de temperatura

Para lograr un buen moldeo, se recomienda trabajar con un perfil de temperatura que vaya de acuerdo con el material que se esté trabajando, las temperaturas de transformación comunes son de 190 a 230 °C. El rango de temperatura en el que se trabaja depende del índice de fluidez del material. Ver tabla 4

Tabla 4 Perfil de temperatura de moldeo de PP

MI gr/10 min	Temperatura °C
4.5	190-230
9.0	185-225
18-30	180-220
50-70	170-210
Con talco	190-230
Carbonato de Ca	190-230

El control de la temperatura en las diversas zonas del cilindro de plastificación se realiza mediante termopares, insertados a lo largo de la trayectoria que sigue el material, desde la tolva hasta la boquilla. Los termopares están conectados a instrumentos de control automáticos que mantienen la temperatura de cada zona en un nivel prefijado. Sin embargo, la temperatura real de la masa fundida que está por ser inyectada en el molde, puede ser diferente a la registrada por los termopares, ya sea del cilindro o de la boquilla. Por tal motivo, se aconseja medir directamente la temperatura del material, haciendo salir un poco de material por la boquilla sobre una placa aislante y ahí mismo, hacer la medición con la sonda de un pirómetro o de un termómetro de respuesta instantánea.

Por otra parte, las variaciones de temperatura en el molde pueden producir piezas con calidad variable y dimensiones diferentes. Cada variación de la temperatura se traduce como un enfriamiento más veloz o más lento de la masa fundida inyectada en la cavidad del molde.

El tiempo de residencia en el cilindro debe ser controlado, para evitar se degrade el polímero, por ello en tiempos máximos de residencia de 6 min. el límite superior de temperatura es de 220 °C y para 3 min. puede llegar a 230 °C.

a) Presiones

Durante el ciclo de moldeo intervienen diversos valores de presión. La intensidad y duración de cada presión influyen en las características físico-químicas y la contracción de las piezas moldeadas.

La presión de inyección, es la presión requerida para vencer la resistencia que el material fundido produce a lo largo de su trayectoria, desde el cilindro de plastificación hasta el molde. La resistencia que se opone al flujo del material depende de la brusca reducción de sección correspondiente a la boquilla, canales de alimentación y de entradas al molde, longitud de trayectoria y clase de geometría de la cavidad.

Cuando se alcanza la máxima presión de inyección, ésta se cambia a valores más bajos y es llamada presión de sostenimiento o postpresión. El objeto es mantener bajo presión el material fundido que se solidifica y se contrae en la cavidad del molde. Para compensar la contracción, se introduce un poco más de material fundido en el molde hasta completar el llenado, así se obtienen piezas más compactas y se reduce la contracción.

Se debe usar la presión de inyección mínima que permita llenar el molde y producir piezas de fácil desmoldeo, con la menor distorsión y sin tensiones internas, empleando altas velocidades de inyección. Se recomienda en la primera etapa 1200 kg/cm^2 y en la segunda 600 kg/cm^2 . Se manejan en ocasiones presiones mayores para prevenir el excesivo encogimiento que normalmente es de 1.8 a 2.5%.

Cuando el material fundido, se acumula entre el espacio de la punta del husillo y la boquilla se origina una contrapresión, que impide el retorno de la masa y al mismo tiempo se incrementa el calor generado por fricción, por ello para evitar la degradación, se debe bajar el valor de la compresión o velocidad del husillo al menor posible recomendándose 5 kg/cm^2 .

Es importante mencionar que los cambios de presión y temperatura de inyección, no afectan la resistencia al impacto de la pieza.

c) Velocidad

Es el avance o carrera axial del husillo en la fase de inyección. La velocidad de inyección elevada facilita el llenado de molde con recorridos de flujo largos, sobre todo cuando se moldean piezas de paredes delgadas.

La alta velocidad disminuye también la caída de presión (o pérdidas de carga) que se presentan cerca de la entrada a la cavidad del molde, por ello se sugiere trabajar con velocidades de inyección alta para minimizar los esfuerzos internos y la distorsión. Se debe procesar a velocidades bajas, temperaturas de molde altas y velocidades de husillo de 50-150 r.p.m.

d) Tiempo de ciclo

La velocidad de ciclo de moldeo depende de las siguientes variables:

Tiempo de apertura y cierre del molde

Tiempo de inyección

Tiempo de sostenimiento

Tiempo de expulsión

De estas variables, el tiempo de apertura y cierre del molde dependen de la tecnología de la máquina (ciclo de vacío) mientras que las tres restantes del diseño del molde, forma y tamaño de la pieza y además de la relación longitud-espesor. El ciclo de vacío es el tiempo requerido para el cierre y apertura de la máquina, sin producir ningún material (inyección=sostenimiento=enfriamiento=0 seg.). En la elección de la maquinaria es muy importante evaluar este parámetro.

4.1.3 Descripción del equipo

a) Tipos constructivos

Existen cuatro tipos de sistemas de inyección, y aunque todas las máquinas de inyección poseen las mismas partes, el arreglo distingue a cada uno de ellos.

En un primer arreglo, la unidad de inyección está en posición horizontal y perpendicular al plano que divide a las dos partes del molde. En el segundo tipo la inyección es vertical, mientras la disposición del molde y la unidad de cierre es la misma que la anterior. El tercer tipo se usa cuando la pieza inyectada lleva insertos metálicos como tornillo, tuercas, etc. En el último arreglo, la inyección se realiza en el mismo plano que divide las cavidades del molde.

b) Unidades de inyección

Esta reúne todas las partes involucradas en la plastificación, mezclado y dosificación a presión del material involucrado, para la posterior alimentación a las cavidades. Hay cuatro tipos de unidades de inyección y dependen del método de plastificación e inyección usado y son:

Émbolo

Émbolo en dos etapas

Husillo plastificante y émbolo

Husillo inyección o reciprocante.

Debido a que la inyección con husillo reciprocante es la más usada, se describirá a continuación.

La unidad de plastificación o inyección consta de las siguientes partes:

Tolva

Husillo y puntas de husillo

Barril

Cabezal del cilindro

Boquilla

Elementos de calefacción

En la fig.4 se muestra esta nomenclatura

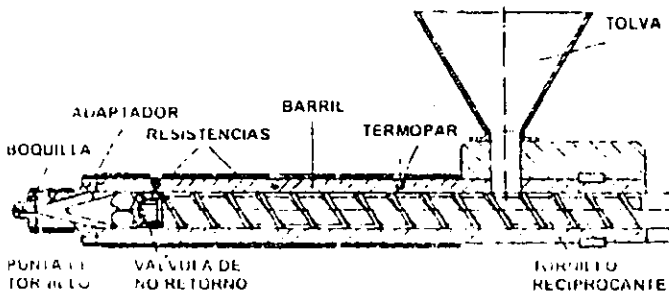


Fig. 4. Nomenclatura de la Unidad de Inyección.

Tolva de alimentación

En esta se acumula la cantidad de materia prima a procesar, la dosificación es intermitente.

Husillo

El husillo empleado para inyección es distinto al utilizado en extrusión, porque las resinas procesadas difieren en cuanto a fluidez se refiere. Para inyección se usa una punta de husillo muy característica que después se describirá

Así es como las características del husillo requeridas son: relación L/D de 16:1 a 24:1, paso constante de 1D, la zona de alimentación debe tener 0.5L, la de compresión a 0.3L y la

dosificación 0.2L, con una relación de compresión de 2.5:1 a 3:1. En la tabla 5 se muestra una comparación entre husillos convencionales para ambos procesos.

Tabla 5 Distribución de zonas en un husillo para PP

Zona	Inyección	Extrusión
Alimentación	60%	20%
Compresión	20%	40%
Dosificación	20%	40%

Punta de husillo

Las puntas de husillo son usadas para evitar el contraflujo que se da al momento de la inyección, cuando el husillo avanza y comprime al plástico y a su vez lo forza a pasar hacia el molde, creando una gran presión que hace al material fluir entre los alabes para regresar a zonas intermedias de la unidad de inyección. Ver fig. 5

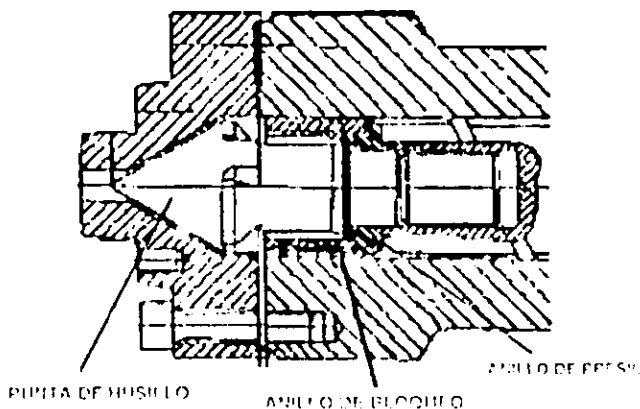


Fig. 5. Punta de Husillo.

Otros diseños usados para plásticos de mejor estabilidad térmica, son las válvulas de no retorno, que tienen la misma función y constan de una punta con un elemento móvil, que durante la alimentación deja un canal libre, por donde el plástico fundido fluye para almacenarse en la zona frontal del cañón y al momento de la inyección, cuando avanza el husillo para bombear el material, el elemento móvil se retrae, cerrando los canales de flujo y evitando el retroceso de material, esto es, funcionan como un pistón.

Cañón o barril

El cañón trabaja conjuntamente con el husillo en la plastificación y transporte de material desde la zona de alimentación hasta el extremo opuesto de la unidad de inyección. Debe ser resistente a las presiones internas generadas, a las temperaturas y a los desgastes provocados por fricción y, por supuesto a la corrosión promovida por la degradación del material o por ciertos aditivos que reaccionan con el metal. La superficie interna del barril lleva un tratamiento especial que, por lo general es gas-nitrurado, ión-nitrurado o construcción bimetálica. Este último ofrece el mejor comportamiento ante problemas de desgaste.

Cabezal del cilindro o adaptador

Esta pieza une al cuerpo principal del cilindro con la boquilla de inyección. La construcción hace que el equipo adquiera una fabricación más modular, facilitando los cambios de boquillas cuando se requiera. En la fig.6 se muestra un cabezal de cilindro.

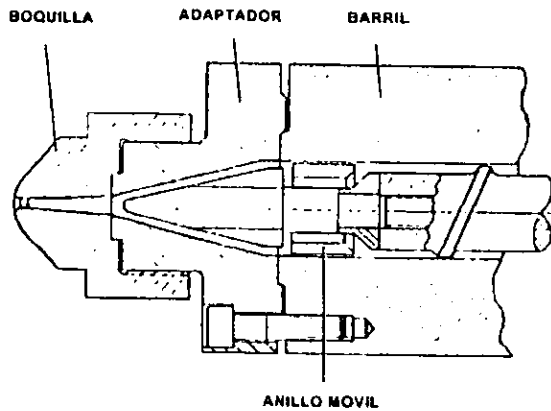


Fig. 6. Cabezal de Cilindro.

Boquilla

La boquilla es el canal de dosificación del material fundido, desde el cañón hacia el bebedero del molde. Debe resistir la presión que se ejerce cuando se pone en contacto con el molde.

Hay dos tipos generales: boquilla abierta o boquilla de apertura controlada.

La boquilla abierta tiene un funcionamiento muy sencillo, consta de un canal de salida del material hacia el bebedero del molde, y su canal siempre está abierto; por ello, se usa cuando se requiere un manejo térmico delicado como el PVC.

En la boquilla de apertura controlada, se permite el paso del material fundido al exterior cuando la unidad de inyección se encuentra en posición de llenar el molde, se evita así escurrimientos de plástico en etapas intermedias. Existen de dos tipos: apertura controlada por el ciclo y de apertura con controlador separado.

En el primer caso, existen dispositivos creados para responder en el momento en que el ciclo exige que la boquilla se abra para expulsar el plástico, esto es, cuando la punta de la boquilla se recarga contra el bebedero del molde o cuando el husillo avanza y eleva la presión en el interior del barril.

Las de apertura controlada con control independiente, son abiertas o cerradas mediante mecanismos externos, siendo posible abrir la boquilla aunque no exista presión en el cilindro ni esté acoplada al bebedero del molde. En ambos casos son más costosas que las abiertas y requieren de un mayor mantenimiento.

Para el PP se puede usar una válvula check, sobre todo cuando el tiempo de husillo adelantado es muy largo y se manejan presiones de sostenimiento altas, para evitar el regreso del material al cañón.

Moldes

El molde es considerado como un accesorio y no una parte constituyente del equipo de inyección. La eficiencia de los medios de producción (máquinas y moldes) juega un papel muy importante en la obtención de piezas precisas con tolerancias muy cerradas. La necesidad de producir piezas moldeadas para uso técnico con tolerancias precisas, ha llevado a los moldeadores de materiales plásticos a emplear máquinas dotadas con sistemas más perfeccionados de control y regulación del proceso de inyección.

Los moldes son construidos por firmas de ingeniería de acuerdo con los criterios de la máxima precisión e intercambiabilidad de las partes y se utilizan dispositivos de regulación automática de temperatura, mantenida al nivel adecuado desde el inicio de la producción.

Con una instrumentación apropiada se controla la precisión dentro del molde, un transductor mide la presión que alcanza la masa plástica fundida cuando la cavidad del molde está completamente llena. La posibilidad de controlar la presión de inyección (desde su inicio hasta la presión de sostenimiento) cuando se ha alcanzado una determinada presión en la cavidad del molde, permite obtener piezas casi con dimensión constantes.

El perfeccionamiento de los medios y métodos de producción, es costoso, pero tiene muchas ventajas, es posible tener producción con ciclos automáticos y una satisfactoria uniformidad de piezas.

En forma básica, un molde se compone de dos partes que tienen una cara común que las acopla perfectamente entre sí, mientras que por la otra cara van montadas, una mitad en la platina fija y la otra en la platina móvil, en la fig.7 se muestra la estructura y montaje del mismo.

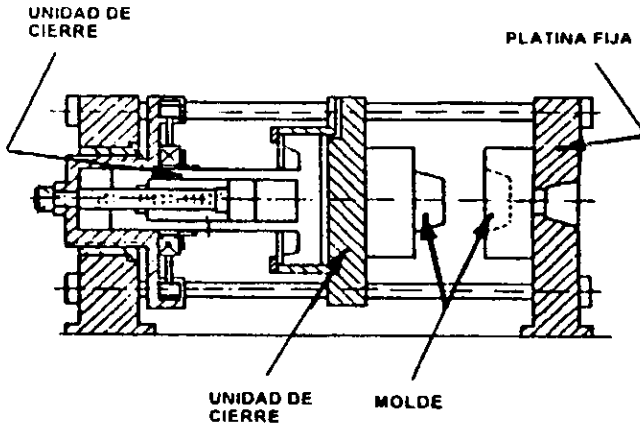


Fig. 7. Montaje de Molde.

Durante el ciclo de inyección, cuando el material de la unidad de inyección está completamente plastificado, la platina móvil se traslada en dirección a la fija hasta que las dos mitades del molde se encuentran y forman una sola pieza, con ayuda de la unidad de cierre. En ese momento, la unidad de inyección expulsa el plástico que pasa por la boquilla y de ahí al bebedero, que es el primer canal del molde que tiene contacto con el plástico fundido.

En el caso de ser un molde para la producción de un artículo por ciclo, el plástico pasa directamente del bebedero a la cavidad que tiene la forma de interés, hasta llegar al último rincón del molde, esto sucede en piezas medianas y grandes (50 a 100 gr) donde un molde de varias cavidades podría ser muy grande y demandaría una máquina de inyección costosa.

Para la fabricación de piezas pequeñas (tapas, botones), los moldes de una cavidad son improductivos por lo que se construyen moldes donde más de una pieza se inyecte en un mismo ciclo, esto es, el plástico fluye del bebedero del molde a unos canales auxiliares, llamados correderas, que lo llevan hasta cada una de las cavidades, así pues el producto final sale acompañado del plástico que permanece en las correderas, siendo necesaria la separación de la pieza de interés del plástico del canal auxiliar (llamado colada fría).

Para eliminar estos problemas se han introducido los moldes de colada caliente, en estos se cuenta con elementos calefactores que mantienen los canales siempre fluidos, a pesar de que el resto del molde se está enfriando, por lo que al abrir el molde, sólo se expulsa la pieza útil.

La temperatura típica de molde es 16-60 °C, y siempre es deseable un rápido enfriamiento para obtener una pieza con mayor resistencia al impacto. Por otra parte, para regular la temperatura del molde se hace circular a través de sus canales agua o aceite diatérmico

Para la inyección de PP el bebedero no debe sobrepasar un diámetro de 8 mm, y siempre debe ser 1.6 mm más grande que el de la boquilla. Las coladas más comunes son de 4 a 7 mm de diámetro.

Sistemas de expulsión

Este sistema consta de un número determinado de pernos que son parte de la cavidad de inyección y que durante la apertura del molde, se accionan por medio de sistemas mecánicos para separar la pieza plástica del metal. En ocasiones toma la forma de anillos, al tratarse de piezas de proyección circular como cubetas y charolas.

Hay que diseñar el molde de tal manera que la pieza permanezca en la parte del molde sostenida por la platina móvil, ya que es más sencillo colocar los sistemas de expulsión allí, de lo contrario cuando la pieza queda detenida en la parte colocada sobre la platina fija, hay que detener el ciclo automático de la máquina para extraer manualmente la pieza.

Unidad de cierre

Su finalidad es mantener firmemente cerrado el molde durante la inyección y evitar los sobrantes o rebabas de material, además de cuidar la integridad del molde, evitando cierres bruscos o presiones excesivas. Existen tres mecanismos básicos que son: sistemas de cierre mecánico, hidráulico e hidromecánico.

El sistema de cierre mecánico está representado por los mecanismos de rodillera, un sistema similar de articulaciones de un brazo que utiliza alguna fuerza, presiona y sostiene el molde en su posición al momento de la inyección.

El sistema hidráulico, el cierre del molde y la presión ejercida durante la inyección, es creada por medio de un pistón hidráulico que es accionado por medio de aceite a elevada presión.

El sistema hidromecánico es una combinación de los dos sistemas anteriores, por medios mecánicos, se cierra parcialmente el molde a una presión muy baja, terminando el trabajo un sistema hidráulico, que ejerce la presión final que el molde debe soportar en la etapa de inyección y sostenimiento.

4.2 Extrusión

Es un proceso continuo en el que la resina funde por la fricción en el interior del cilindro y por la conducción de calor que se da entre las bandas calefactoras que cubren al cilindro y el material. Cuando el material está fundido se impulsa a través de una ranura estrecha que puede tener forma de anillo o de línea recta. La película delgada resultante tiene la forma de una lámina (película plana) o de un tubo, también llamada burbuja (película soplada). Conforme la película sale del cabezal, se enfría y luego se enrolla en un núcleo. Los productos requieren también de procesos posteriores con el fin de habilitar el artículo, como en el caso de sellado y cortado para la obtención de bolsas a partir de película tubular.

La extrusión es el proceso más importante de obtención de formas plásticas en volumen de producción y su restricción principal es que los productos obtenidos deben tener una sección transversal constante en cualquier punto de su longitud (tubo, lámina) o periódica (tubería corrugada), quedan excluidos todos aquellos con formas irregulares. En la figura 8 se muestran las partes más importantes de una extrusora.

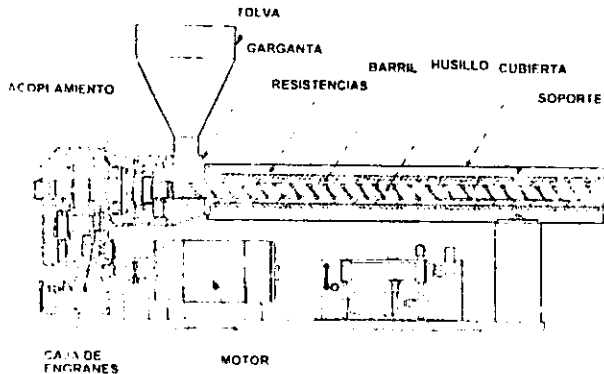


Fig. 8. Esquema de una Extrusora.

4.2.1 Descripción del proceso

Debido a la versatilidad y amplia aplicación del moldeo por extrusión, suele dividirse dependiendo de la forma del dado y del producto extruido, siendo entonces:

De película tubular

De tubo y perfil

De lámina y película plana

Recubrimiento de cable

Independientemente del tipo de extrusión que se quiera analizar, todos guardan similitud hasta llegar al dado extrusor. Básicamente el equipo de extrusión consta de un tornillo de rotación constante con alabes helicoidales denominado husillo o tornillo, instalado dentro de un cilindro metálico revestido con una camisa de resistencias eléctricas. En un extremo del cilindro se encuentra un orificio de entrada para la materia prima, donde se instala una tolva de alimentación, en ese mismo extremo se encuentra el sistema de accionamiento del husillo, compuesto por un motor y un sistema de reducción de velocidad.

En la punta del tornillo, se ubica la salida del material extruido, un cambiador de tamices (filtros), un adaptador de cabezal y el dado que da la forma final al plástico.

4.2.2 Descripción del equipo

a) Tolva

Es un embudo donde se deposita la resina para la alimentación continua del extrusor. En sistemas de extrusión con mayor grado de automatización, se cuenta con sistemas de transporte de material desde contenedores hasta la tolva por medios mecánicos o neumáticos.

Existen 2 sistemas básicos de alimentación automática de resina y son: alimentadores volumétricos que rellenan la tolva de acuerdo a un programa definido basado en la producción del sistema de extrusión, y el alimentador gravimétrico que proporciona resina directamente a la garganta de la tolva, esto es funcionan midiendo el peso de los materiales alimentados desde la tolva especial de balanza y determinan la velocidad de consumo. Cuentan con una computadora que hace análisis estadístico y ajusta la velocidad para mantener el espesor de la película y la productividad indicada.

b) Barril o cañón

Es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión. El cilindro debe tener una compatibilidad y resistencia al material que se esté procesando, esto se consigue usando aceros de diversos tipos.

El cañón cuenta con resistencias eléctricas que proporcionan una parte de la energía térmica que el material requiere para ser fundido, éstas responden con rapidez, son fáciles de ajustar y requieren un mínimo de mantenimiento.

Los ventiladores a lo largo del cilindro hacen descender la temperatura cuando es necesario y rápidamente enfrían el cilindro cuando se va a apagar el extrusor, algunos fabricantes utilizan zonas de enfriamiento con agua para una mejor transferencia de calor.

Todo el sistema de calentamiento es controlado desde un tablero donde las temperaturas de proceso se establecen en función del tipo de material y del producto deseado, para esto se insertan dentro de la pared del cilindro y en algunos caso inclusive dentro de la masa fundida termocopios, sus señales activan mecanismos de control de temperatura para regular las bandas de calentamiento y los dispositivos de enfriamiento.

c) Husillo

Es la pieza que en alto grado determina el éxito de una operación de extrusión. En la fig 9. se muestra la nomenclatura de un husillo.

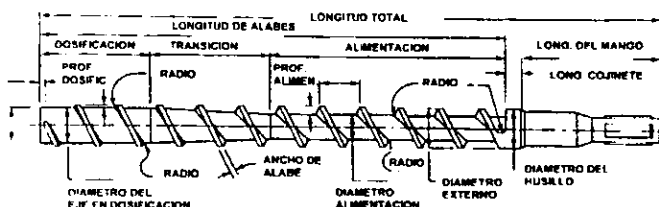


Fig. 9. Nomenclatura de un Husillo.

Debido a que el PP es muy sensible a las condiciones de flujo, amasado y temperatura durante su procesamiento, se recomienda utilizar un husillo de cuatro zonas y con las especificaciones de L/D 29:1, en la alimentación 13D, en compresión 7D, dosificación 6D, mezclado 3D,

La temperatura del tornillo se controla automáticamente entre 25 y 80 °C por medio de un control de temperatura que ajusta la cantidad de agua que fluye a través del tornillo cada vez que se varía la temperatura.

d) Paquete de tamices y placa de transición

Después de recorrer todo el tornillo, la resina fundida pasa a través del paquete de tamices y la placa de apoyo de transición para más tarde ir del adaptador al cabezal.

La placa de transición circular esta situada entre el final del cilindro y el adaptador, normalmente esta entre en ambos y tiene que ser lo suficientemente larga para dejar holgura entre las caras de ambas partes de la máquina cuando éstas se unen estrechamente por medio de pernos, así no escapa nada de masa fundida. Un anillo robusto encierra la gruesa placa atravesada por un gran número de huecos igualmente espaciados (de 1.6 a 3.2 mm) de diámetro. Su función es sostener

el paquete de tamices, además de ejercer retropresión, enderezar el flujo espiral de masa fundida proveniente del tornillo, servir como sello entre el cilindro y el adaptador y alinearlos.

El paquete de tamices localizado en la placa de transición, es una serie de tamices de acero inoxidable cuya función es filtrar materia extraña que pudo haber entrado en la tolva. También ayuda a aumentar la retropresión en el cilindro particularmente si no se usa una válvula de extrusor (o de presión) con este propósito.

Los cambiadores automáticos de tamices, tienen una banda rotatoria continua de tamices o unidades rotatorias, que reemplazan a los que se obstruyen. La sustitución se hace sin interrumpir el flujo de masa fundida. La retropresión se puede incrementar utilizando un paquete de tamices finos.

Válvula de presión

Permite un control de las presiones internas, las cuales tienen un efecto poderoso en la temperatura de masa fundida. Dan buen control y se utilizan de 2 tipos: la válvula de presión interna que es un tornillo móvil que se ajusta hacia adelante o hacia atrás para disminuir o aumentar la presión. El movimiento del tornillo hace variar la abertura entre el final del tornillo y la placa de tamices y adaptador.

Y el otro tipo de válvula es la de presión externa que contienen un arreglo de clavijas cuya función es variar el tamaño de la abertura en el adaptador del extrusor, variando así la presión.

Adaptador

Guía a la resina desde el cilindro hasta el cabezal tan constantemente como sea posible. Un flujo no homogéneo significaría áreas muertas donde se retendría algo de la mezcla y se calentaría excesivamente degradándose por consecuencia. Un anillo articulado sirve normalmente para unir el adaptador al cilindro.

e) Componentes de una línea de extrusión

e.1) Película tubular

Consiste de extrusora, cabezal o dado, anillo de aire de enfriamiento, dispositivo estabilizador o calibrador de película, dispositivo de colapsamiento de la burbuja, rodillo de tiro superior, embobinadora y una torre estructural que soporta las partes anteriores. Ver fig.10

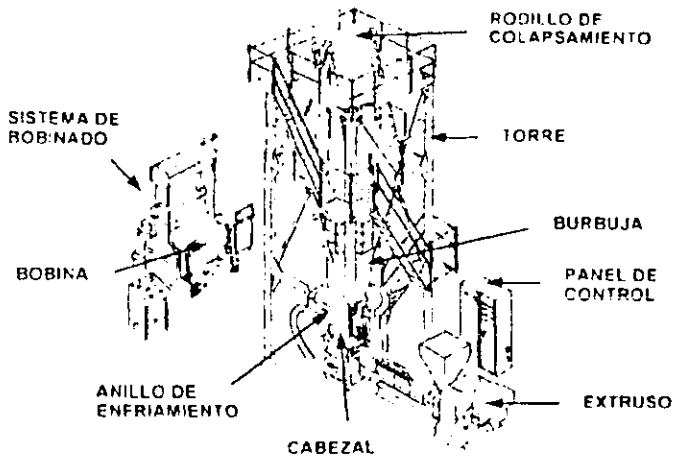


Fig. 10. Línea de Extrusión de Película Tubular

Dado

El cabezal o dado está unido al adaptador, es como un núcleo con una envolvente cilíndrica y concéntrica, separadas entre sí por un espacio de 0.6 y 2.8 mm (esto es el espacio entre el mandril y el anillo del cabezal) y, en el exterior, tienen resistencias eléctricas. Su función es ofrecer al polímero fundido en forma de un tubo de pared delgada y de espesor constante a lo largo de su circunferencia, dosificando a temperatura y volumen constante, y que se transforma en una película por la acción de una expansión longitudinal y transversal al llegar a la zona de formación de la burbuja. Ver fig 11

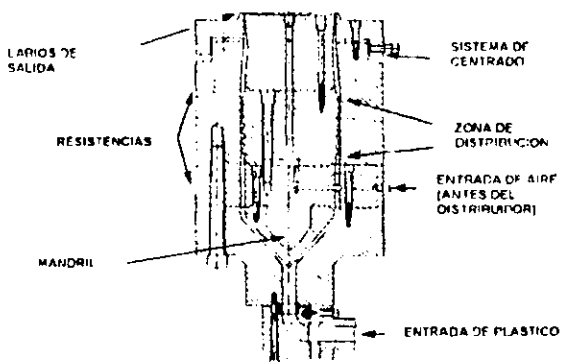


Fig. 11. Cabezal de Extrusión de película Tubular.

El tubo mientras esta todavía fundido, se expande formando una burbuja del diámetro esperado y el espesor disminuye por consecuencia. Esta expansión es el resultado de la presión del aire dentro de la burbuja, que se introduce luego en el tubo a través del centro del mandril.

Los cabezales de película soplada tienen una o más zonas de calentamiento en forma de anillo. La temperatura del cabezal debe ser la misma que la de fusión de la resina.

Anillo de enfriamiento

Por la acción del extrusor, el polimero fundido abandona el cabezal, toma el perfil tubular de los labios del dado y continua modificándose con un estiramiento longitudinal ocasionado por el jalado de los rodillos superiores y de la expansión lateral creada por la presión del aire atrapada dentro de la burbuja. La película con espesor y diámetro constante se forma si el cabezal se encuentra centrado y si el material sale de manera homogénea.

El material extruido recibe más tarde un enfriamiento superficial por medio de aire en la burbuja o aire en dos o más anillos alrededor de su circunferencia externa o por agua rociada sobre el exterior de la burbuja, método que se usa en líneas de película de polipropileno.

El método más común es el de anillo de enfriamiento alrededor del tubo de resina y justo encima del cabezal.

El diámetro del anillo no debe pasar de 2.5 a 5 cm sobre el diámetro del cabezal. Y generalmente tiene un sólo labio para dirigir el flujo de aire en contra del tubo de poliolefina conforme se expande.

El diseño de los anillos de enfriamiento depende del tipo de material a procesar, los más complicados son los de una y dos etapas de enfriamiento. En la fig. 12 se muestra un anillo de enfriamiento.

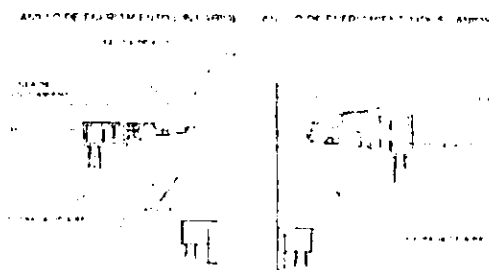


Fig. 12. Anillos de Enfriamiento.

En la transformación del PP la extrusión tubular es un proceso difícil de controlar, es casi imposible mantener estable la burbuja debido al fenómeno de pulsación, que es un lento efecto de movimiento en o cerca de la línea de solidificación, lo que provoca variaciones en el diámetro de la burbuja. Aún si no se tuvieran estos problemas, la película de PP sería quebradiza y de propiedades ópticas pobres, estos efectos están asociados con la baja velocidad de enfriamiento del proceso convencional de soplado de película, por ello se han desarrollado técnicas especiales que incluyen extrusión sobre un dado frío o hacia abajo en un baño de agua. Aquí la burbuja se produce de arriba hacia abajo, este sistema se efectúa para tener al final de la burbuja un baño de agua fría y lograr mayor claridad, brillo y transparencia

El enfriamiento del PP debe ser rápido para evitar la degradación por ello se tienen los siguientes procesos

Apagado tubular de Shell.- Después de ser soplada la película se hace pasar a una tina de agua fría.

Proceso Dow-Taga.- La tina de agua fría se sustituye por un baño de agua que se auxilia con anillos enfriadores para lograr el mismo efecto.

El equipo convencional, se monta de 2 a 3 m del piso y su dado varía de 45 a 90 mm de diámetro, con capacidades de producción de 140 kg/h. Al no ser la película orientada, el proceso es directo y el producto puede presentar un espesor de 0.9 mm. En las figuras 13 y 14 se muestran los diagramas.

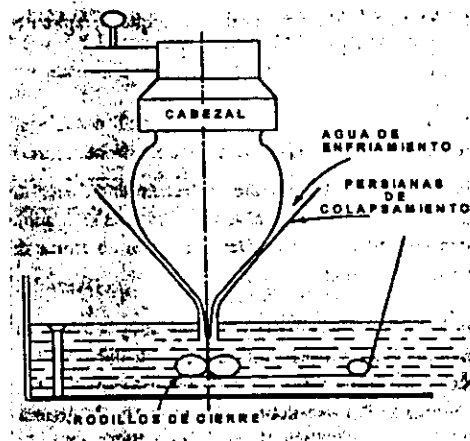


Fig. 13. Apagado Tubular de Shell.

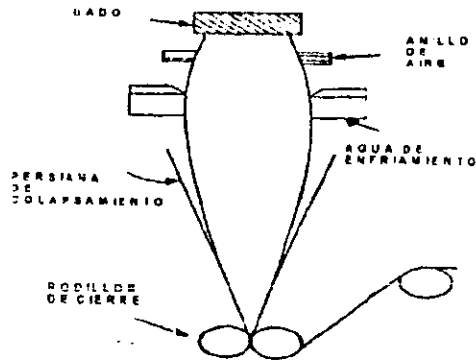


Fig. 14. Proceso de Dow-Taga.

Película tubular biorientada

Para la fabricación de esta película se usa un equipo de 120 mm de diámetro, con una relación $L/D= 33:1$. La película se enfría con agua y posteriormente se calienta en un horno a $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, para que se pueda estirar en relación 5.5:1 en sentido transversal-longitudinal (biorientar) y finalmente obtener una película de 0.02 a 0.08 mm de espesor.

La orientación se da primero en dirección máquina, mediante un sistema de rodillos que estiran la película longitudinalmente y después manteniendo la película reblandecida, se sopla la burbuja para obtener el orientado transversal.

Unidades de calibración

Estos dispositivos controlan el diámetro de la burbuja, y se requieren cuando se trabaja con enfriamiento interno. Consta de pequeños rodillos soportados por ejes curvos dispuestos alrededor de la burbuja.

Se coloca también un sensor de diámetro en la parte superior, y manda una señal para aumentar o disminuir el volumen de aire cuando hay diferencias de $\pm 2\text{mm}$ en el diámetro.

Equipo de recogida y embobinado

El sistema para recoger la película soplada, es más complicado que el de película plana. La burbuja que se eleva desde el cabezal se lleva hacia un complejo sistema de recogida,

generalmente llamado torre multinivel, donde la burbuja de película plegada pasa a través de una serie de rodillos de guía y una unidad de embobinado.

Unidad de tiro

Incluye un marco para el colapsado de la burbuja y un rodillo de presión y jalado de la película, que al igual que el embobinador, no influyen en la productividad, pero sí en la calidad de la bobina de película.

La primera parte de la unidad que tiene contacto con la película es el marco de colapsamiento, cuya función es llevar a la película en forma de burbuja a una forma plana, mediante una disminución constante del área de paso y evitar que durante el colapsamiento de la burbuja se formen pliegues.

Rodillos de tiro

Influyen en la calidad de la película final, ya que deben tirar uniformemente para no provocar variaciones en el espesor. Los anillos son de acero recubierto con hule.

Embobinadores de película

La película se enrolla generalmente sobre un tubo de cartón o de metal llamado núcleo, el cual gira accionado por un embobinador.

Son dispositivos que captan el material producido para suministrarlo a máquinas de procesado final como impresoras, cortadoras, selladoras. Existen de dos tipos: embobinadores de contacto y centrales. En los primeros el eje que porta el núcleo, sobre el cual se enrollará la bobina, llamado rodillo de película, no está motorizado, pero gira por la transmisión del movimiento de otro rodillo que si cuenta con un motor accionador llamado rodillo de contacto, este tipo de embobinador es el de mayor uso en las líneas de película soplada.

En los embobinadores centrales, el rodillo de la película está motorizado y varía de velocidad al incrementar el diámetro de la bobina.

Controles

En un sistema de extrusión de películas incluye un gran número de elementos que pueden afectar la producción y calidad. Sin embargo, los actuales microprocesadores manejan complejos problemas de control de muchas variables simultáneamente. Estos sistemas de circuito cerrado pueden vigilar constantemente la alimentación de resina, temperaturas, velocidad del tornillo.

presión, velocidad de la línea, espesor de la película, producción, etc. y hacer los ajustes necesarios cuando los valores de las variables salen de los límites prefijados.

Los monitores presentan las condiciones de operación y son los sistemas de administración de información los que generan reportes de turno, mensuales, resúmenes de tareas y otros datos.

e.2) Tubo y perfil

Este proceso consta de una extrusora con un diseño de barril y husillo adecuados al tipo de material que se quiera procesar. En el extremo del extrusor, un cabezal o dado conformará al polímero en estado plástico en las dimensiones del tubo o perfil prefijado. Para lograr esto, se instala una unidad de formación o calibración y después se coloca una tina de enfriamiento que remueve el calor excedente. Junto a la tina la unidad de tiro tensiona constante al material, para que esté siempre en movimiento y por último una unidad de corte o de enrollado prepara el producto para su distribución. Ver fig.15

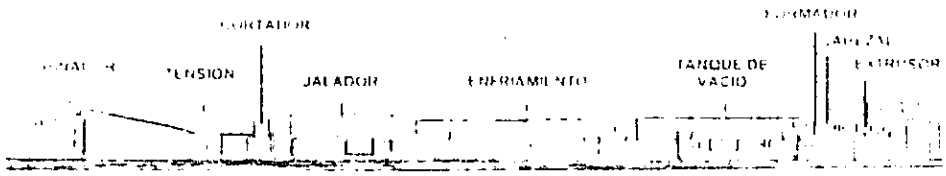


Fig. 15. Líneas de Tuberías para Poliolefinas.

Dado o cabezal para tubería

Se distingue el tipo de cabezal con mandril-araña y el mandril en espiral, que proporcionan diferentes patrones de flujo para el plástico, Ver fig. 16

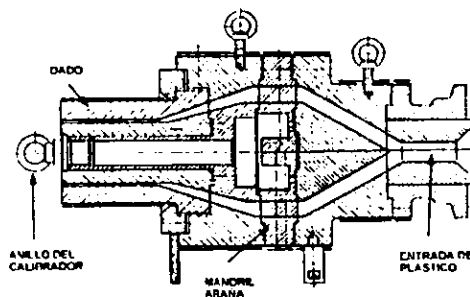


Fig. 16. Cabezal con Mandril Araña.

Unidad de calibración de tubería

Da al tubo el diámetro específico y la forma circular requerida. El sistema de calibración para tubería de pared lisa funciona con los siguientes principios: calibración externa utilizando vacío y calibración interna usando presión.

En la calibración externa, el vacío provocado por fuera del tubo ocasiona una diferencia de presiones que hace el polímero se mantenga en contacto con el tubo formador metálico, que tiene un diámetro interior igual al exterior requerido para el producto. La inmersión total o aspersión de agua es el sistema de enfriamiento y da la estabilidad final.

En la calibración externa por presión, el mismo efecto de diferencia entre la presión exterior e interior del tubo del plástico, promueve la formación del tubo contra las paredes del tubo de calibración, pero es el aire el que se inyecta al interior del tubo que es extruido. Aquí es necesario un diseño especial de cabezal que permita la inyección de aire.

Tina de enfriamiento

Se encarga de remover el calor de la tubería a la salida del tanque de calibración, es importante, ya que da estabilidad y evita que el producto se deforme al pasar por la unidad de tiro.

Existen dos tipos de tinas de enfriamiento: por esparado (aspersión) y por inmersión.

En el primer caso, el tubo pasa por la unidad de enfriamiento, que consta de una cámara donde numerosas boquillas rocían agua fría sobre la tubería. Se usa para tuberías de gran diámetro.

En el segundo caso, el tubo pasa por una tina llena de agua en constante enfriamiento, y a diferencia del esparado, se usa para tubería de diámetro pequeño, donde debido a las altas velocidades de extrusión se requiere de un enfriado intenso.

Para los dos sistemas es necesario un enfriador y una bomba de recirculación.

Unidad de tiro

Aquí se genera toda la fuerza que mantiene al plástico en movimiento dentro de la línea de extrusión. Se conocen tres tipos de unidades de tiro: por oruga, de bandas y de ruedas de rodillo.

Las dos primeras se requieren cuando el artículo producido es sensible a la presión, esto es, que puede sufrir deformaciones bajo presiones moderadas o en productos de grandes dimensiones. Los sistemas por rodillos, son más sencillos y adecuados cuando es muy pequeña el área de contacto. Ver fig 17

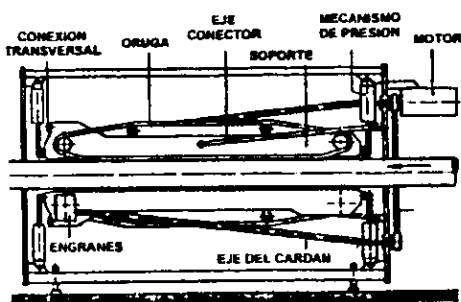


Fig. 17. Unidad de Tiro.

Unidad de corte

Hay varios tipos de unidad de corte diseñadas para adecuarse al trabajo requerido en la producción de tubería flexible, la práctica común es formar rollos, lo cual reduce el trabajo de corte mientras que en la producción de tubería rígida el corte del tubo debe hacerse con precisión en intervalos de longitud iguales. Se usa para este fin la sierra radial en tubería de hasta 20 cm de diámetro, o la sierra planetaria en tubería de diámetro mayor. Y el tipo de guillotina que es el más usado en el corte de tubería semirígida como PP y PEAD, pero puede producir ligeras deformaciones por acción del impacto de la cuchilla.

Unidad de enrollado

Se usa para materiales flexibles que son los que no sufren una deformación permanente por ser enrollados. La tubería de poliolefinas y mangueras de poliaminas y PVC flexible, son adecuadas para este proceso. Para la extrusión de tubos, se utilizan grados de PP de bajo índice de fluidez que contienen además estabilizadores y aditivos.

La zona de alimentación se debe estabilizar a 180 °C e incrementar gradualmente hasta llegar a un rango de 220 a 240 °C en la zona de mallas. A partir de este punto, se debe reducir la temperatura aproximadamente a 60 °C, con la finalidad de evitar que el polímero muy caliente se adhiera al formador, el que más se utiliza es el de vacío y la presión que se aplica es de 0.5 a 0.6 kg/cm²

e.3) Lámina y película en dado plano

El proceso de extrusión por dado plano ofrece algunas variantes con respecto a película tubular, ya que se obtienen láminas para aplicaciones como termoformado (blister pack, skin pack, artículos

desechables) y láminas de varios espesores para diversos usos, en la fig.18 se muestran las partes principales de un arreglo para línea de extrusión por dado plano. Las partes más importantes en la extrusión son: dado o cabezal, rodillos de enfriamiento, unidad de tiro y unidad de embobinado.

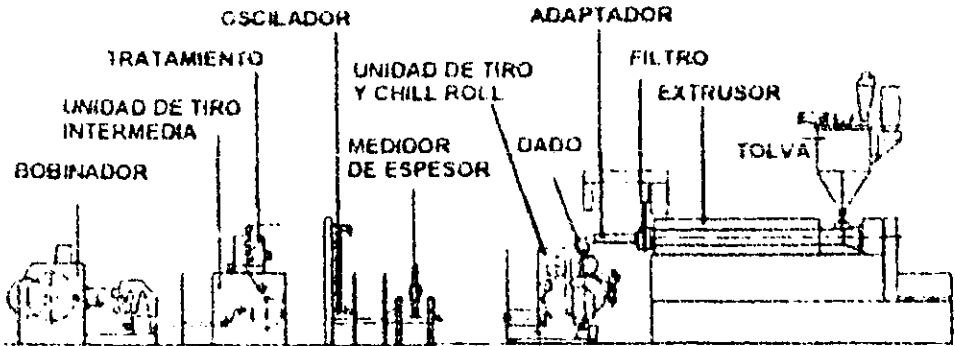


Fig. 18. Línea de Producción de Película.

Dado o cabezal

El dado da la forma que el polímero tendrá en su aplicación final (excepto en líneas con estiramientos posteriores, orientación). Ver fig.19

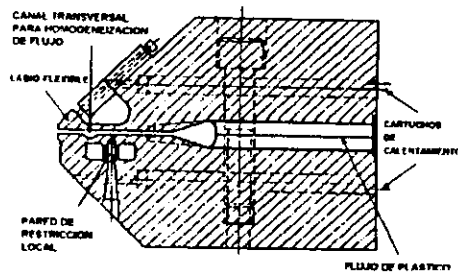


Fig. 19. Esquema de Dado Plano.

Los diseños de dado para producir película plana y lámina son similares, se distinguen tres tipos con base a la forma del canal de distribución del polímero fundido a la salida del dado y estos son: Tipo T, cola de pescado y gancho para ropa, este último es el más recomendado, ya que muestra gran consistencia en la uniformidad de distribución de flujo a pesar de tener cambios en las condiciones de operación, se usa cuando la uniformidad de espesor y calidad son aspectos importantes. El colector T se aplica en la producción de recubrimientos y laminaciones con papel y aluminio.

Las longitudes del cabezal de película plana son de hasta 3.8 m, sin embargo conforme aumenta la longitud (en ocasiones a más de 2.5 m) la operación de extrusión de la película se hace más sensitiva debido al ancho y al área de la masa fundida que fluye hacia fuera.

La temperatura del cabezal y la temperatura de la resina en los labios del cabezal (temperatura de fusión) son normalmente más altas en los cabezales de película plana que en los de película soplada alcanzando hasta 290 °C.

Un cabezal de película plana tiene siempre un cierto número de zonas de calentamiento, cada una con 20 cm de ancho para lograr mantener uniforme el espesor de la película y la temperatura no debe variar en más de 1 °C a lo largo del cabezal.

Unidad de enfriamiento

Tomando una forma laminar al salir del dado, el polímero pasa por un corto tramo donde tiene contacto con el aire ambiental hasta llegar al rodillo en donde empieza el enfriamiento. En este punto, dos diferentes tipos de líneas de extrusión se distinguen: Para película (0.01-0.4 mm) y para lámina (0.20-2.5 mm).

Las diferencias entre las líneas de producción de película plana y de lámina termoformable, se observan en la zona de rodillos de enfriamiento, donde en el primer caso la película tiene contacto en un sólo lado al momento de unirse al rodillo enfriador, mientras en la lámina termoformable, la resina cae entre dos rodillos que calibran el espesor final y permanece unida al rodillo mayor para continuar enfriándose.

El rodillo de enfriamiento requiere un sistema efectivo de intercambio de calor. En la fig. 20 se muestra un corte longitudinal de dos tipos de rodillos de enfriamiento.

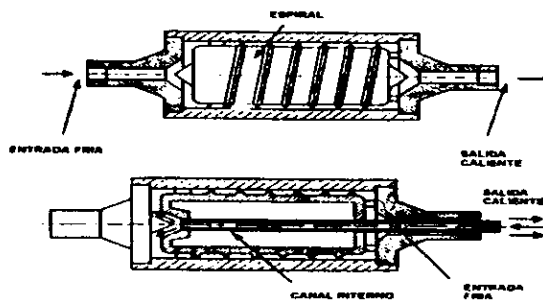


Fig. 20. Flujos de Líquido Refrigerante dentro del Rodillo de Enfriamiento.

Hay varios sistemas para lograr un mejor efecto de enfriamiento y son:

Cámara de succión.- Auxilia para lograr un buen contacto entre la película y el tambor de enfriamiento, además crea un área de baja presión que jala la película hacia el tambor.

Cuchilla de aire.- Oprime la película contra el rodillo de enfriamiento al lanzar una cortina de aire a alta presión contra la película en el punto de contacto con el rodillo.

Estabilizadores laterales.- Son boquillas de aire que reducen el encogimiento de los costados de la película.

Ya estabilizado el polímero por el rodillo de enfriamiento, pasa por una serie de etapas, el camino del plástico ya moldeado incluye rodillos libres para eliminación de pliegues, medidor y controlador de espesor, sistema de tratamiento superficial para facilitar la impresión, equipo de corte y succión de bordes.

Unidad de corte

Se utilizan el corte lateral, para tener un producto con bordes uniformes o el central cuando se requiere de películas de un ancho menor al que se produce en el dado.

Unidades de enrollado

Tienen la función de producir bobinas compactas y uniformes, pero como generalmente la película es usada en otros procesos como impresión y envasado, el producto debe ser manejable, no debe ocurrir bloqueo o tensión.

Los procesos básicos de embobinado son: embobinado por contacto y embobinado central.

Con el embobinado por contacto se obtienen rollos de película no sensible a la tensión, mientras que en el segundo caso se obtienen rollos donde la compactación puede ser regulada.

Película Cast

Esta denominación se debe a que la hoja o película de material, cae entre dos rodillos enfriadores que la estabilizan y como están pulidos a espejo, dan propiedades de brillo y buen acabado superficial al producto terminado. Para la obtención de película es importante controlar el perfil de temperatura cuya dependencia de variables como tamaño de extrusor, velocidad y diseño de husillo, contrapresión, tiempo de residencia y temperatura de alimentación del material es conocido, por ello se recomienda que el PP en la zona de alimentación se encuentre a 177 °C y se

aumente gradualmente en las siguientes zonas hasta tener una temperatura de fundido de 280 a 288 °C. Si se procesa abajo de los 260 °C se obtiene poco brillo, distorsión interna de la película y una superficie áspera y por el contrario si la temperatura se encuentra arriba de los 288 °C se inicia la decoloración, pérdida de la resistencia mecánica, aumento de contracción y degradación del material.

También es de importancia la abertura del dado, ya que de ello depende el espesor de la película. Al producir películas de espesor menor a 12 milésimas de pulgada, se deben modificar los siguientes parámetros:

1. Incrementar la presión de operación, ya que al ser una abertura del dado muy pequeña, se necesita un mayor esfuerzo para obtener la película completa.
2. Controlar la velocidad del husillo para evitar problemas de contrapresión en la entrada del dado.
3. Ajustar la abertura y evitar una película con marcas de flujo o mala distribución de material.

Con la relación entre el espesor de la película y la abertura del dado, se sabe que para espesores pequeños, la abertura es hasta 10 veces más grande que el espesor, mientras que para espesores grandes, esta relación disminuye.

Para la obtención de una película biorientada, la película recibe un estirado longitudinal, sujetándola por los extremos laterales y volviendo a calentar proporcionándole entonces un estiramiento transversal, este proceso es el biorientado Tenter. Ver fig.21. Esta película se usa para fabricar cintas adhesivas y película para protección de alimentos.

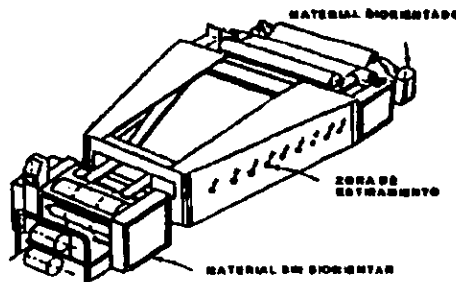


Fig. 21. Proceso de Película Biorientada Tenter.

Raffia

Se obtiene de la película cast, cuando se corta en tiras y se estira en dirección máquina, hasta poco antes de su máxima elongación, esas tiras después se tuercen para fabricar hilos que al tejertos originan costales por ejemplo.

e.4) Recubrimiento de cable

La parte fundamental del proceso se encuentra en el dado o cabezal y éste es común a todos los tipos de recubrimiento.

Dado

Se utiliza un cabezal del tipo de sección anular, por su similitud con la salida de los cabezales para película tubular y tubería. Ver fig.22. Como se puede observar, el paso recto del cable requiere de una extrusión transversal, la cual puede ser de 30 a 90°.

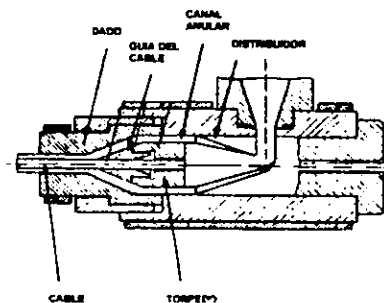


Fig. 22. Nomenclatura del Cabezal de Recubrimiento de Cable.

Existen dos formas para recubrir cable: recubrimiento por presión y recubrimiento con tubo.

En el recubrimiento por presión, el cable se encuentra envuelto por el plástico fundido bajo presión en el interior del dado y en el recubrimiento por tubo se utiliza un dado similar al usado en la producción de tubería, pero de un diámetro más pequeño. Durante el proceso, el pequeño tubo formado en el cabezal se contrae, disminuyendo un poco su espesor y cubriendo la superficie del cable.

Todas las líneas deben tener después del cabezal una unidad de enfriamiento, una unidad de tiro, un embobinador, un sistema de medición de espesor de pared y un probador de fuga de corriente.

4.3 Soplado

En el proceso de soplado el polímero en estado fundido es descargado a través de un cabezal con una sección transversal anular. Este perfil o párison es atrapado entre las mitades del molde y le es inyectado aire a través de uno de sus extremos para que tome la forma de la cavidad. Se forma un cuerpo hueco (un envase) que después se enfría y se expulsa del molde cuando esta rígido.

Es un proceso discontinuo de producción de recipientes y artículos huecos, es la única forma de crear envases de boca angosta e incluso de paredes muy delgadas con gran resistencia mecánica. El PP se emplea para crear artículos pequeños tipo gotero y hasta botellas de 2 lt. los primeros tienen resistencia a elevadas temperaturas y los segundos tienen barrera al oxígeno y resistencia a grasas. Se usa extrusión-soplo para botellas grandes y se trabaja de 190-218 °C e inyección-soplo para botellas pequeñas a temperaturas de 230-260 °C y se opera a presión de más de 4 atm.

4.3.1 Descripción del proceso

El proceso de soplado tiene dos etapas principales, una es la preparación de la preforma por extrusión y la otra es el proceso de soplo propiamente dicho. Con base a la manera en que se obtiene la preforma, el proceso de soplado se divide en dos tipos: extrusión-soplo e inyección-soplo.

Extrusión-soplo

Se alimenta resina al extrusor, aditivos, pigmentos. Las cargas no se recomiendan, ya que rompen las paredes del recipiente. Una vez homogéneo la mezcla pasa al dado y de manera análoga a la extrusión de tubería se produce una preforma (párison) tubular con dimensiones de pared controladas para que la pieza final cumpla con las dimensiones de espesor requeridas. La preforma tiene una forma vertical y descendiente. Cuando se tiene la longitud óptima (poco mayor a la longitud del molde que forma la pieza final), se cierran las dos partes del molde, dejando confinado el párison en este. El molde además de rodear al párison, lo prensa por uno de los extremos sellando las paredes del tubo. Después se introduce una boquilla en el extremo abierto del molde y en el interior del párison y se inyecta aire a presión, obligando a la preforma a extenderse hasta alcanzar las paredes del molde, donde se enfría y conserva la forma interior del molde. La boquilla de inyección del aire crea la estructura final de la boca y el cuello del recipiente. El molde se separa y se expulsa por aire a presión. Las etapas soplado-enfriamiento y expulsión tardan lo suficiente para que en el dado se haya extruido una nueva preforma y se inicie el ciclo productivo.

ESTA TESIS NO DEBE
AGILITARSE NI
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Proceso de inyección-soplo

Se fabrican con el proceso de inyección-soplo recipientes de boca ancha con o sin cuerda, tales que no pueden obtenerse por simple inyección.

En la primera etapa la resina es alimentada a la tolva de donde pasa al cañón y por acción del husillo y las resistencias calefactoras se funde y es transportada a la punta de la unidad de inyección y ahí se acumula la cantidad suficiente para inyectar la pieza. El husillo avanza y expulsan el material plastificado hacia la cavidad del molde para producir la preforma, ver fig 23.

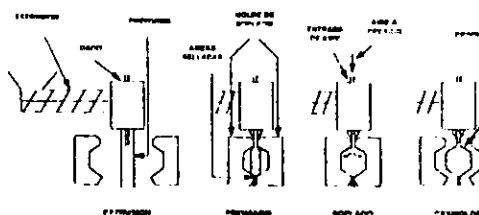


Fig. 23. Proceso de Extrusión-Soplo.

Cuando se inyecta el plástico se enfría ligeramente para que la preforma pierda fluidez y continúe en estado reblandecido. Con la temperatura adecuada la parte del molde correspondiente al cuerpo de la preforma se aparta, para ser sustituida por otro molde que tiene la forma exterior del recipiente deseado. Las partes del molde que formaron el cuello y la parte interna de la preforma se conservan inmóviles. La preforma ubicada ahora en el molde de mayor volumen, se expande por la inyección de aire introducida por el vástago metálico central usado durante la inyección de ésta.

La línea de costura en la base de producto no aparece, sólo se ve una prominencia que indica el punto de inyección de la preforma. El plástico en contacto con las paredes interiores del molde final, transfiere su calor hacia el metal, que a su vez es enfriado con fluidos refrigerantes.

La expulsión de la pieza terminada con la apertura de los moldes que dieron forma al cuerpo y cuello del recipiente y la salida del vástago central del interior del producto, de aquí, éste y el formador del cuello se reúnen con el molde de la preforma para instalarse en posición a la salida de la boquilla de la inyectora y esperar una nueva descarga de material plastificado.

4.3.2. Descripción del equipo

Cabezal de extrusión

Tienen una construcción de 90° , pues no existe otra forma en que el molde pueda tomar el párisson que no sea vertical.

Las secciones de alimentación al cabezal deben tener un diseño adecuado para evitar líneas de soldadura por los elementos que sostengan el mandril central del dado. Para producir preformas de diámetro pequeño, una salida de material recta puede ser lo indicado. Para la producción de formas que no sean completamente cilíndricas o que sean de un tamaño relativamente grande (más de 5 litros de capacidad final), hay que contar con un control en el espesor de la preforma. La variación en los espesores de la preforma, se logra por medio de un dado que tenga la capacidad de incrementar o reducir la distancia de la abertura, esto se consigue con el movimiento ascendente y descendente del mandril del dado de extrusión. Ver fig.24

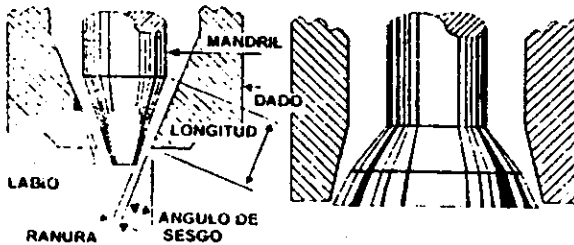


Fig. 24. Dados Para Extrusión de Preformas de Espesor Variable.

Cabezal con acumulador

En la producción de contenedores grandes (20 lt o más) y principalmente cuando se requiere una distribución del espesor de pared, se recomienda su uso. Es un mecanismo de almacenamiento de plástico fundido para posteriormente formar el párison con alta velocidad.

Corte del párison

Una vez que el párison ha sido formado y captado por el molde, existe un mecanismo que corta el párison y permite el paso de la boquilla de soplado. Se puede usar una cuchilla en frío o un alambre caliente.

Moldes para extrusión-soplo sin biorientación

Son moldes sencillos, se fabrican de materiales muy ligeros como el aluminio, ya que durante el soplado no se ejerce una presión elevada como en el moldeo por inyección. Sin embargo, en máquinas de alta productividad, se demanda moldes de acero.

El molde de soplado no tiene un corazón, por ello el enfriamiento del envase se dará sólo en la cara externa. El aire que se inyecta se calienta rápidamente si no es removido, desfavoreciendo el

proceso de enfriamiento. Es por esto que las máquinas inyectan un flujo circulatorio de aire, no sólo para soplar la botella sino también para enfriarla.

Moldes para inyección-soplo sin biorientación

Debe adicionarse un molde de inyección de tres partes, que implica una complejidad mayor que el caso anterior, ya que el molde de inyección debe tener un diseño especial y materiales especiales para resistir las presiones normales de un proceso de inyección.

El molde de soplado podrá ser de las mismas características que el usado en la extrusión-soplo convencional.

Controladores de espesor de pared

El espesor de pared se controla por medios mecánicos, obteniendo un perfil variable a lo largo y ancho de la preforma. Funcionan por medio de servo-válvulas, que modifican la apertura entre mandril y boquilla. El mandril y la boquilla deben tener un movimiento en igual dirección (la del flujo) y tener un ángulo de salida apropiado.

C A P Í T U L O 5

ANÁLISIS DE RECICLADO DE POLIPROPILENO

ANÁLISIS DE RECICLADO DE POLIPROPILENO

En este capítulo se analizará el proceso de reciclado de PP, teniendo la base de los capítulos anteriores, esto es, ya se conoce a cerca de las características del polipropileno, de los aditivos de proceso, de los principales tratamientos para los residuos plásticos y de los procesos de moldeo.

En primer lugar se tocará el tema de la reestabilización y los aditivos usados para el PP y se darán ejemplos. Después se describirá el proceso de recuperación de PP, y se presentará el DFP (diagrama de flujo de proceso) y tablas de balance de masa y energía para el recuperado y para la inyección de PP virgen. Por último se hablará brevemente sobre costos de esta operación.

5.1 Reestabilización del plástico reciclado

El producto fabricado con plástico reciclado en algunas ocasiones se introduce a un mercado análogo al de polímero virgen, por ello son altas las exigencias en cuanto a propiedades y calidad se refiere. Cuando se necesita un plástico reciclado de este tipo, las fases de limpieza, separación y filtración de fundido son de suma importancia, pero la denominada reestabilización es fundamental para el buen desarrollo del proceso.

La reestabilización tiene la función de mejorar las características del material reprocesado, dar estabilidad térmica, evitar que el polímero se degrade durante el proceso, prolongar la vida útil del producto y dar valor agregado al reciclado. Para lograr esto se adicionan aditivos reestabilizadores.

Es importante saber el estado en que se encuentra la materia prima a reestabilizar, esto es, que tan dañado o degradado se encuentra el polímero.

El plástico a reciclar contiene impurezas introducidas durante su producción, durante el uso que se le dio al artículo y durante su reprocesamiento. Estas impurezas incluyen trazas de metales, hidroperóxidos, grupos carbonilos, ácidos, residuos de pinturas y trazas de otros polímeros que son responsables de aumentar la oxidación y foto-oxidación, así es que se tiene que considerar lo siguiente:

1. Si el polímero está contaminado con otras resinas
2. Si el polímeros estuvo expuesto en su primer uso a sustancias o agentes agresivos.
3. La procedencia del plástico a reciclar.

5.2 Aditivos importantes en el reciclado

Para la reestabilización del plástico post-consumo se incorporan aditivos que evitan su degradación, lo protegen contra el impacto ambiental, contra la luz dañina UV y para obtener estabilidad térmica durante su procesamiento. Estos aditivos ofrecen principalmente:

1. Obtención de alta eficiencia, ya que ayudan a mantener las propiedades físicas durante el procesamiento y uso final y por otra parte es posible fabricar artículos de plásticos de paredes delgadas.
2. Dar una excelente estabilidad de proceso, ya que mantienen estabilidad en el flujo de material fundido y se obtienen altos rendimientos.
3. Es posible tener buena coloración en el producto final, ya que limita el cambio de color después de reprocesar, evitan la decoloración
4. El uso de estos aditivos da estabilidad térmica a la luz UV, se mantienen propiedades durante su uso y durante su exposición a la intemperie, se prolonga además el tiempo de vida útil. Se crea un efecto sinérgico.
5. Para un fácil manejo los aditivos para reestabilizar tienen una presentación en gránulo o pellet.
6. Hay factibilidad económica en el uso de estos materiales, ya que dan valor agregado al producto final.

A continuación con el estudio de reestabilización de PP que hizo H. Hebst en 1992, se ejemplifica lo anterior y cabe mencionar que en la actualidad estos materiales son usados por recicladores.

Con PP proveniente de baterías de auto y formulado con antioxidante fenólico 0.05% y con 0.01% de fosfito, se reestabilizó con el aditivo Reciclostab 411 de la marca Ciba Geigy en un 0.33%, y se procedió a realizar pruebas de estabilización mediante extrusiones múltiples y de moldeo por inyección.

La determinación de propiedades las realizó a altas temperaturas e intemperismo artificial. También hizo inspección visual de la decoloración y craqueo.

Trabajó con una placa de PP de 2 mm de espesor y a una temperatura de 135 °C con material recuperado y virgen, además de mezcla reestabilizada.

Los parámetros que midió fueron índice de amarillamiento YI, resistencia al impacto a_{20} y la consistencia del torque T.

Usó los siguientes aditivos:

1. Reciclostab * 411 que es una mezcla de coestabilizador y antioxidante, su función es reestabilizar el PP reciclado, da estabilidad térmica. Se usa 0.2-0.4%

2. Blend *225 es un estabilizador térmico, es una mezcla de Irgafos* 168 e Irganox *1010, se usa del 0.1-0.2%.

El antioxidante Irganox* 1010 y el absorbedor de luz UV Irgafos* 168 son aditivos usados para PP virgen y su fórmula general es la siguiente:

Irganox 1010 Pentaeritritetra- 3(3,5 diter- butil- 4- hidroxi fenil) propianato Se dosifica del 0.1-0.5%

Irgafos 168 Tris (2,4 –di-tert-butilfenil) fosfito. Se agrega del 0.1-0.2%

- Se refiere a un producto de marca registrada Ciba Geigy

Y los resultados que obtuvo se muestran a continuación.

	<i>Sin estabilizar</i>			<i>Estabilizado (0.2% Blend y 0.33% Reciclostab)</i>		
	0h	3h	22h	0h	113h	305h
YI	10	-----	69	14	25	27
IF g/10 min	45	+100	-----	2.8	3	3.2
a_{zn} K J/m²	48	36	0	188	144	100
	<i>10 min</i>			<i>60 min</i>		
	T	IF	a _{zn}	T	IF	a _{zn}
Virgen						
PP	6.4	45	48	0.2	+100	0
PP + 0.2% B225	11	3	129	1	+100	39
Reciclado						
PP	5.2	9	123	0.1	+100	50
PP + 0.2% B225	5.8	8.7	136	1.1	+100	50

Los resultados anteriores muestran como el uso de reestabilizador retrasó la degradación. Los fenoles y fosfitos componentes del B 225 disminuyeron el peso molecular, la decoloración y también bajo el torque.

La resistencia al impacto después de 305h fue 100 KJ/m contra el de 48 KJ/m del PP virgen sin estabilizar.

Con la adición del Reciclostab 411 la placa soportó 50 días a diferencia del material quebradizo que no se reestabilizó que sólo duró 14 días. Sobresaliendo el que no se afectó en un periodo de 100 días con una dosificación de este producto al 0.7%.

También es importante señalar que el material no reestabilizado incrementa en su IF, con el consecuente deterioro de propiedades.

Por otra parte, hay que mencionar que cuando se trabaja con material recuperado, la disminución del índice de fluidez puede solucionarse agregando polietileno de alta densidad bimodal o polietileno de baja densidad de menor IF, dosificando de 6-10%.

Y si hay decoloración se pueden agregar aminas hidroxí en un 4-7% y para obtener un material menos quebradizo se usa polietileno de alta densidad en un 5%.

5.3 Diagramas de bloques

Las etapas requeridas para reciclar PP, dependen en gran medida de las condiciones en que se encuentre el material colectado. En el siguiente diagrama de bloques, se muestran las operaciones unitarias más comunes.

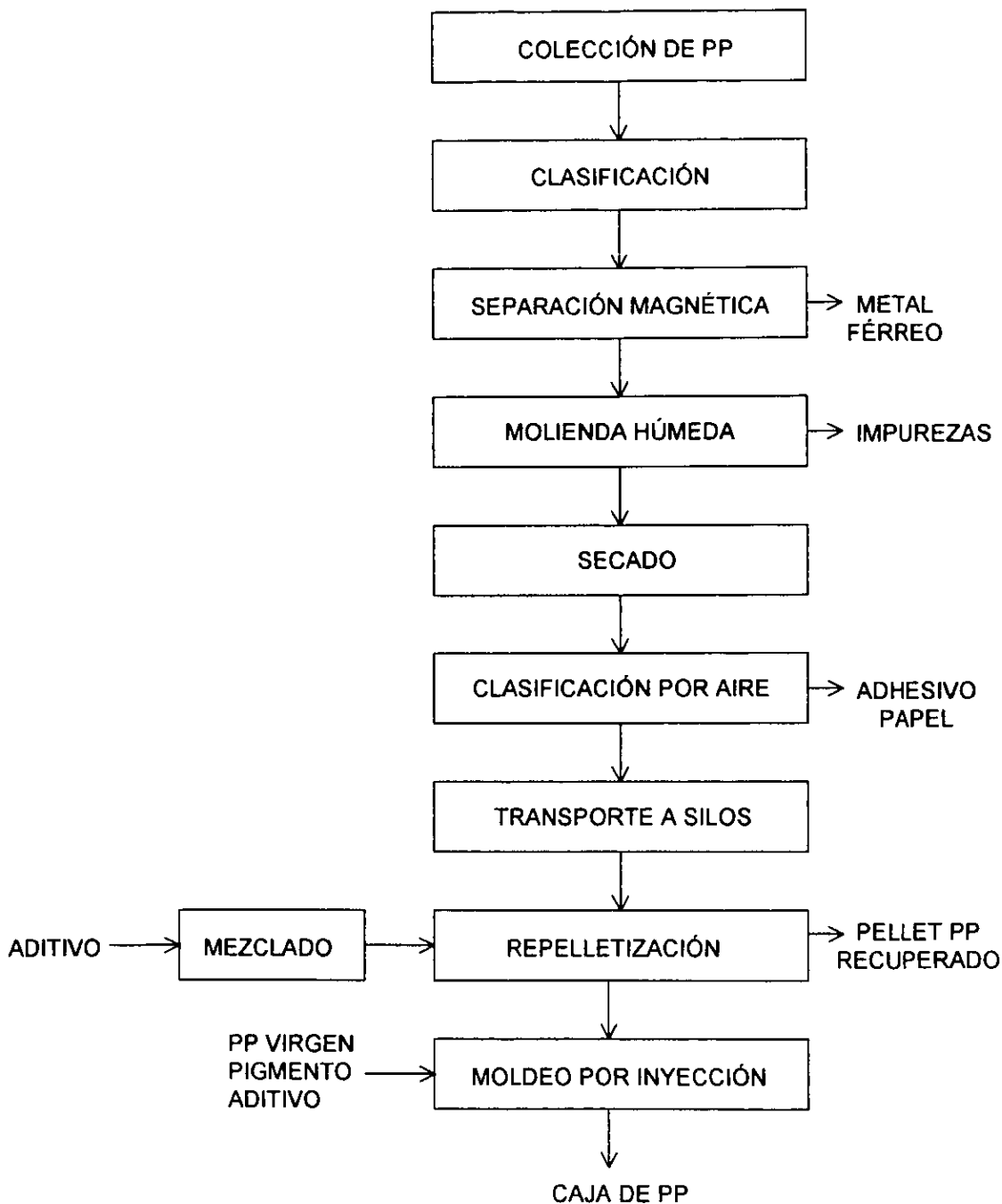
Se cuenta en primera instancia con tapas de PP, colectado de un centro de acopio y después se le extraen trazas de contaminantes metálicos, para dirigir al plástico a la molienda húmeda, en donde además de realizar la reducción de tamaño se eliminan contaminantes, por medio de la corriente de agua de salida.

A continuación se realiza un secado y después se hace una clasificación por aire, donde se removerán restos de papel y adhesivo.

Ya limpio el material se transporta a un silo de almacenaje que alimentará una pelletizadora que dará la forma de gránulo o pellet al material, pero se enriquece previamente con aditivos.

Obtenido el pellet de polipropileno recuperado, se procede al moldeo por inyección para elaborar el artículo de plástico final, una caja para lápices de PP. Ver fig 25

FIG. 25 DIAGRAMAS DE BLOQUES “RECICLADO DE POLIPROPILENO”



5.4 Descripción del proceso

Se alimenta un lote de 100 kg./hr. de tapa de PP proveniente de un centro de acopio al detector de metales (separador magnético) que extraerá trazas de metales féreos.

Con la finalidad de tener un tamaño de partícula adecuado en la pelletización, se hace una reducción con una molienda húmeda (diámetro inicial 7 cm - diámetro final 0.5 cm.), al mismo tiempo se logra un lavado intensivo por la alta turbulencia creada en la cámara del molino, con lo que en el agua del lavado se irán posibles contaminantes sólidos.

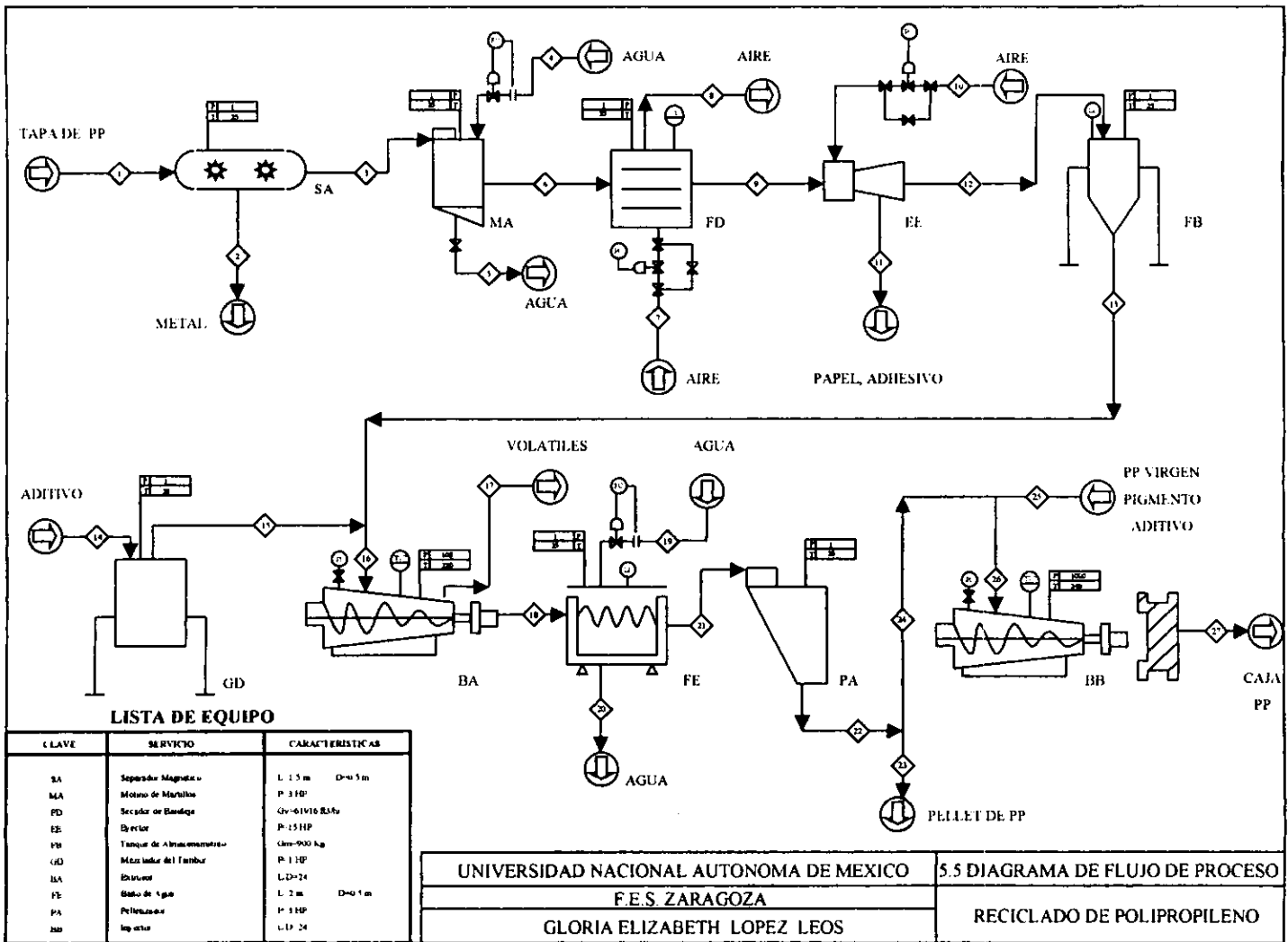
Después el plástico pasa a un sistema de secado mecánico y se remueve el 97% de agua para que se efectúe la clasificación por aire, en una etapa de vacío y se crean dos fracciones una pesada (PP) y otra ligera (papel, adhesivo).

El polipropileno molido y limpio se transporta a un silo de almacenaje, para mezclar diversos lotes de material recuperado y tener un material más homogéneo, para la posterior transformación.

Por otra parte, se alimenta a un mezclador aditivo para reestabilizar (una mezcla de antioxidantes y absorbedores de luz UV) y se descarga a la pelletizadora.

La pelletizadora en frío tiene como función plastificar, homogeneizar, desgasear y filtrar el plástico para obtener pellets de tamaño y calidad uniforme.

Para la obtención de un artículo de plástico (caja para lápices de PP) se moldea por inyección con el material recuperado y se reestabiliza con una mezcla de aditivo, pigmento y polímero virgen para crear un producto de buenas propiedades mecánicas (resistencia al impacto, a la tensión y rigidez). Ver a continuación el diagrama de flujo de proceso y el balance de masa y energía para el proceso.



LISTA DE EQUIPO

CLAVE	SERVICIO	CARACTERISTICAS
SA	Separador Magnético	L: 1.5 m D=0.5 m
MA	Molinos de Martillos	P: 3 HP
FD	Secador de Bandejas	Qv=0.1510 B3/s
FE	P: 15 HP	
PA	Tanque de Abrasamiento	Cap=900 kg
GD	Mézclador de Fambur	P: 1 HP
BA	Extruder	L:D=24
FE	Banco de Agua	L: 2 m D=0.5 m
PA	Pelletizador	P: 1 HP
BB	Impactor	L:D: 24

BALANCE DE MASA Y ENERGIA				RECICLADO DE POLIPROPILENO HOJA : 1 DE 4			
CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7
COMPONENTE							
POLIPROPILENO	100		99.95			99.45	
METAL		0.05					
PAPEL							
IMPUREZAS					0.5		
PIGMENTO							
ADITIVO							
POLIPROPILENO VIRGEN							
VOLATILES							
AGUA				200	180	20	
AIRE							1822.9
FLUJO TOTAL KG/HR	100	0.05	99.95	200	180.5	119.45	1822.9
DENSIDAD KG/M ³	900	7000	900	1000	1000	900	0.96
PRESION ATM	1	1	1	1	1	1	1
TEMPERATURA °C	25	25	25	25	25	25	93
ESTADO FISICO	sol	sol	sol	liq	liq	sol-liq	vap

BALANCE DE MASA Y ENERGIA				RECICLADO DE POLIPROPILENO HOJA : 2 DE 4			
CORRIENTE	8	9	10	11	12	13	14
COMPONENTE							
POLIPROPILENO		99.45			95.04	95.04	
METAL							
PAPEL				1.44			
IMPUREZAS							
PIGMENTO							
ADITIVO							2.8
POLIPROPILENO VIRGEN							
VOLATILES							
AGUA				2.97			
AIRE	1938		425				
FLUJO TOTAL KG/HR	1938	99.45	425	4.41	95.04	95.04	2.8
DENSIDAD KG/M ³	1.02	900	1.15	1000	900	900	900
PRESION ATM	1	1	0.11	1	1	1	1
TEMPERATURA °C	65	65	40	40	25	25	25
ESTADO FISICO	vap	sol	vap	sol	sol	sol	sol

BALANCE DE MASA Y ENERGIA			INYECCION DE PP VIRGEN				
			HOJA : 1 DE 1				
CORRIENTE	26	27					
COMPONENTE							
POLIPROPILENO							
METAL							
PAPEL							
IMPUREZAS							
PIGMENTO	6.9						
ADITIVO	0.19						
POLIPROPILENO VIRGEN	99.08						
VOLATILES							
AGUA							
AIRE							
CAJA DE PP		106.2					
FLUJO TOTAL KG/HR	106.2	106.2					
DENSIDAD KG/M ³	900	900					
PRESION ATM	1	1					
TEMPERATURA °C	25	35					
ESTADO FISICO	sol	sol					

Con los balances de masa y energía del PP recuperado y de PP virgen, se observa como en el primero una parte fundamental del proceso, es la purificación de la materia prima y después la reestabilización, que en el caso contrario de tener sólo material virgen no son necesarias.

También la importancia de la pelletización, ya que desempeña 4 funciones y que al ser un equipo de suma importancia en el se basa en gran parte el éxito del proceso.

También es importante, tener el porcentaje óptimo de material virgen a mezclar con PP reciclado recomendándose iniciar con una dosificación alta (30%), y disminuir hasta que se encuentre la mezcla idónea que nos permita estabilizar el proceso y crear un producto de calidad.

Por otra parte, debido a que el proceso de reciclado de plástico busca minimizar costos o al menos es uno de los enfoques que se le ha dado en la industria del plástico, a continuación se presentarán como un apartado los costos de operación del mismo para una industria transformadora en México 1997. Ver tabla 6

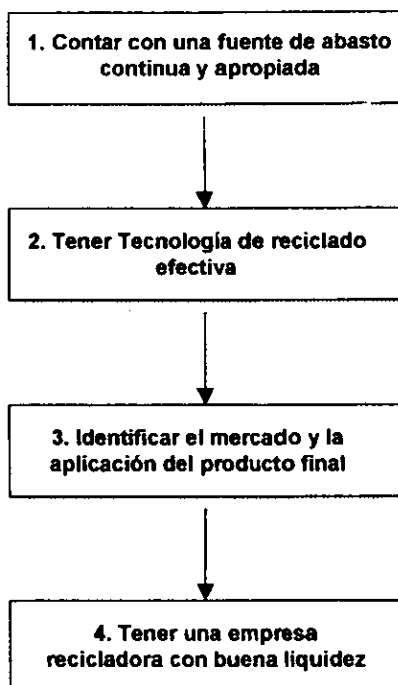
Tabla 6 Costos de operación

Costos	\$/Ton
Costo de materia prima	
Colección del plástico	880-1056
Selección por tipo de plástico	352-528
Molienda	704-1056
Lavado y secado	1056-1760
Costo de reciclado	2992-4400
Utilidad del reciclador	528-1056
Precio de mercado para la resina	
(Hojuela)	3520-5456
Pelletizado	1408
Entrega	352
Costo mercado para pellet aditivado	5280-7216

El rango de precio del PP recuperado y pelletizado es de \$4-5 por kg, mientras que el PP virgen homopolímero tiene un precio de mercado de \$7 por kg .

Como se observa con este panorama los costos referentes a la colección, selección, lavado y secado son muy altos, por ello los centros de acopio y la comunidad en general deben concientizarse y contribuir a que esas funciones se den de manera adecuada, con su colaboración se tendría un proceso más atractivo para los procesadores de plástico y con ello resultaría un menor daño al ecosistema, se tendría menos contaminación.

Por último, se sabe que para tener un negocio de reciclado de plástico exitoso, se requiere de lo siguiente:



CONCLUSIONES

Para muchas personas el reciclar ha sido un medio de vida, para los empresarios una forma de reducir costos, actualmente la importancia de conservar recursos y la protección del medio ambiente, han obligado a involucrar no sólo a las autoridades, sino a toda la comunidad, en este estudio se confirmó que el reciclado de polipropileno es técnicamente factible y en el DFP se mostraron las operaciones unitarias y condiciones de proceso requeridas, con el balance de masa y energía para material recuperado y para material virgen. se observó la importancia de las operaciones de purificación de la materia prima y el por qué éstas impactan drásticamente en los costos de operación. Para lograr lo anterior se requiere de una separación y clasificación de los residuos plásticos adecuada.

Quedaron bien definidas también las tres etapas necesarias para un reciclaje como son: selección del residuo sólido plástico (centros de acopio), preparación para la transformación (separación de contaminantes) y la transformación final, esto es el uso de esa resina recuperada para la fabricación de un nuevo artículo.

También la importancia de la reestabilización y como fabricantes de aditivos, continúan investigando para lograr conservar las propiedades originales del plástico en un material recuperado.

Las empresas recicladoras en México (30) adecuan los residuos lavando, moliendo y aditivando el material plástico derivado de procesos industriales y/o post-consumo. El resultante se integra nuevamente al ciclo de transformación.

En México el polipropileno, es el plástico que ha presentado el mayor crecimiento en volumen en los últimos años sobre materiales como polietileno, PVC y poliestireno. Se ha desarrollado tanto en el sector de envase, como en el de consumo al requerirse materiales con excelentes propiedades y un precio bajo. También las innovaciones han creado múltiples usos con sus resinas clarificadas, con cargas minerales y otros grados que le han permitido penetrar a mercados como el de la industria automotriz.

Por último, mencionaremos que escuelas de prestigio internacional aseguran que en esta época y hasta inicios del siglo XXI, los negocios que generan mayor crecimiento y utilidad son las comunicaciones, la computación, electrónica, envase y plásticos.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. Andrews, "Emerging technologies in plastic recycling", American Chem.Society, U.S.A,1992.
2. C. Rauwendaal, "Mixing in polymer processing", Marcel Dekker, U.S.A., 1991.
3. C.Carvana. Chem. Eng. Prog. 13-22, (1995).
4. Castillo I., "El desarrollo sustentable y la Ciudad de México", Instituto de Estudios de la Lev Democrática, Segunda, México, 1998.
5. "Enciclopedia del plástico". PP, Reciclado, IMP, México, 1997.
6. Estadísticas de la industria del plástico 1997, IMP, México, 1997.
7. Estadísticas del medio ambiente, INEGI, México, 1997.
8. Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales, Instituto Nacional de Ecología, México, 1997.
9. F.Lo, Chem. Eng. Progress, 55-58, (1993).
10. F.Yen, "Recycling and Disposal of solid waste", segunda, Ann Arbor Science, U.S.A., 1975.
11. G. Bodini, "Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos" Segunda ed, McGraw-Hill, México, 1993.
12. H. Kastner, Hydrocarbon Processing, 109-112, May (1995).
13. H.Herbst, Plast. Europe, 1-8, Switzerland, (1992).
14. J.Schut, Plastics World, 1-8, Jun (1995).
15. K. Kuhlke, Hydrocarbon Processing, 89-90, May (1990).
16. Muñoz A., "Residuos sólidos plásticos tratamiento y reciclaje", CIFSA; España, 1980.

17. "Manejo de reciclaje de los residuos de envases y embalajes" Sedesol, México, 28-33, 1993.
18. P.Layman, Chem. Eng. New, 11-14, Oct. (1993).
19. "Plastics Industry safety handbook", D.Rosato, Cahners practical plastic,series, U.S.A., 1973.
20. "Plastics Waste Management", Ciba Geigy, Switzerland. 4-14, 1992.
21. "Polymer Handbook" Octava Ed., John Wiley, U.S.A., 27-32, 1989.
22. "Proceedings of national waste processing conference", The American society of mechanical Engineers, U.S.A., 23-26, 1976
23. "Programa de medio ambiente 1995-2000", México, 46-80, 1996
24. R. Riess, Chem. Week, Jan 31, 1996.
25. "R.Ehring. "Plastic Recycling", Hanser, U.S.A., 1992
26. R.Pfaendner, Plas. Europe, 1-4, Switzerland, (1995)
27. "Recycling & restabilization" Ciba Geigy Ltd, Switzerland, 1-15, 1995