

2.º Ej. No. 81.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



UTILIZACION DE MATERIALES INGENIEROS PROFESIONALES FAC. DE QUIMICA
POLIETILENICOS RESIDUALES

T E S I S

Que para obtener el Título de
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P r e s e n t a

MIGUEL ANGEL PIZANO SANTOS



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

Página

CAPITULO 1

INTRODUCCION..... 1

CAPITULO 2

GENERALIDADES..... 6

CAPITULO 3

METODOS DE FABRICACION DE POLIETILENO..... 13

CAPITULO 4

CARACTERISTICAS DEL POLIETILENO..... 18

CAPITULO 5

CONTROLES DE CALIDAD..... 26

CAPITULO 6

PROCESAMIENTO DEL POLIETILENO..... 40

CAPITULO 7

MATERIALES RESIDUALES DERIVADOS DE LA FABRICACION, ALMACENA
MIENTO Y PROCESAMIENTO..... 45

CAPITULO 8

DESARROLLO EXPERIMENTAL

8.1. EXPOSICION..... 55

8.2. EXPERIENCIAS DE PRUEBAS A NIVEL INDUSTRIAL..... 57

8.3. CUANTIFICACION DE CAPACIDADES DE PRODUCCION EN EQUIPOS-
DE PROCESO DE POLIETILENO..... 82

8.4. RECOMENDACIONES SOBRE EL USO FINAL DE LOS MATERIALES RE

Página

SIDUALES.....	94
CAPITULO 9	
CONCLUSIONES.....	103
BIBLIOGRAFIA.....	106

INTRODUCCION.

El polietileno es indiscutiblemente el material plástico de más empleo en la actualidad. Desde su aparición en el mercado, se significó por su versatilidad y amplias posibilidades de uso en múltiples campos, por lo que su demanda creció rápidamente y ha sostenido su preponderancia hasta la fecha en base a sus notables características, facilidad de procesabilidad, costo competitivo y variedad de aplicaciones.

La industria de los plásticos en México destaca por su importancia y representa un sector económico de alto valor que cubre muchas necesidades en los campos doméstico, agrícola e industrial y genera gran cantidad de empleos directos e indirectos.

Los principales materiales plásticos que alimentan a las fábricas de productos intermedios y artículos terminados, se elaboran en el país por la empresa estatal Petróleos Mexicanos o por las instalaciones de petroquímica secundaria del sector público y privado que a su vez se nutren de los básicos suministrados por Pemex.

La capacidad de producción instalada en el caso de los petroquímicos primarios es insuficiente y se ha hecho necesario desde hace varios años realizar importaciones para completar la demanda. De los cinco plásticos de mayor consumo en el país y que representan principalmente el 75% del total utilizado, a saber Po-

lietileno Baja Densidad, Polietileno Alta Densidad, Policloruro de Vinilo, Polipropileno y Poliestireno, solamente el polipropileno se importa en su totalidad ya que aún no se ponen en operación las plantas proyectadas por Pemex para su fabricación.

La tasa de crecimiento de las industrias de plásticos en México se vió alterada en 1982 por los factores de recesión económica bien conocidos y aunque no responde al planteamiento estadístico establecer consideraciones en base a las cifras registradas en ese año, sí es conveniente tomarlas como representativas de la situación que se refleja en esta industria, derivada a su vez del entorno económico nacional prevaleciente.

De acuerdo a los datos publicados para el año de referencia", de las 880 000 toneladas de consumo aparente de resinas, 248000 corresponden al polietileno de baja densidad y 106 000 al polietileno de alta densidad, o sea que ambos polietilenos representaron el 40.5% del total utilizado y a su vez ocuparon respectivamente el primero y segundo lugar en las listas de materiales plásticos de más consumo. (5)

La demanda del polietileno en sus dos tipos se debe indudablemente, entre otros factores, a su amplia gama de aplicaciones: objetos domésticos, envases y empaques de toda índole, partes y refacciones de equipos automotrices e industriales, artículos eléctricos, electrónicos, hidráulicos, sanitarios y para-

" (último disponible).

construcción, recubrimientos agrícolas, etc. Baste decir que hay más de 500 empresas, grandes, medianas y pequeñas, dedicadas a transformar las resinas de polietileno en cientos de artículos diversos y que estimativamente son iguales a cuando menos el 60% del total de instalaciones fabriles procesadoras que se ubican en el marco de la industria de los plásticos.

Para satisfacer la demanda de polietileno, aún retraída como se encontró en 1982, hubo que importar en total 182 000 toneladas, lo que significó el 51% del consumo aparente. (5,25).

Salta a la vista la alta incidencia económica de las importaciones en el esquema industrial de los plásticos en México. El freno de la demanda ha sido consecuencia en gran parte del freno a las importaciones impuestas por las propias autoridades, considerándose otros factores determinantes las restricciones en la entrada al país de maquinaria procesadora y la propia retracción del mercado.

Ante la crisis surgen siempre los retos de actitudes de superación y de subsistencia. La industria de plásticos, afectada al igual que el resto de la planta productiva del país, se ha visto impelida a desarrollar actividades de creatividad o imaginación para poder continuar trabajando y cumplir sus objetivos de satisfacción de bienes y servicios a la población. En el caso particular del polietileno, la limitada disponibilidad de resina virgen

orientó a los industriales hacia la búsqueda de materiales de segunda o desperdicios susceptibles de utilizarse, al reciclaje de productos de plásticos considerados como residuales o desechos, la racionalización en la calidad de los artículos terminados, la intersubstitución de materias primas, el aprovechamiento de residuos, etc.

En esta tesis se presenta un panorama general de la industria del polietileno en México y se apuntan algunos aspectos sobre la utilización de materiales residuales derivados de la producción de las poliolefinas en las plantas de Petróleos Mexicanos, de su almacenamiento y su transporte. El propósito es establecer la existencia de este recurso que ya viene siendo empleado por nuestros industriales con gran éxito y señalar sus posibilidades, conscientes de que en la medida que se optimice el aprovechamiento de productos residuales en todas las instalaciones de proceso y manufacturas, se disminuirán las salidas de divisas por compras de materiales primarios en el extranjero, se favorecerá la balanza económica de la nación, se restringirá el consumo superfluo y se evitará el desperdicio de recursos.

SIGLAS USADAS

- ALK-"Alkathene Test Method" (ICI)- Método de prueba.
- ASTM-"American Society For Testing Materials" (USA)- Méto
do de prueba.
- ESCR-"Environmental Stress Craking Resistence" Resisten--
cia al agrietamiento por esfuerzos ambientales pro-
vocados.
- G.O.-Gránulos Oxidados.
- ICI-"Imperial Chemical Industries".
- MFI-"Melt Flow Index"-Indice de fluidez.
- PAD-Polietileno Alta Densidad- Equivalente (HDPE)-"High--
Density Polyethylene".
- PED-Polietileno Baja Densidad- Equivalente (LDPE)-"Low --
Density Polyethylene".
- VSP-"Vicat Softening Point"- Punto de Reblandecimiento.

CAPITULO 2

GENERALIDADES.

2.1. HISTORIA.

Los inicios del descubrimiento del polietileno corresponden a 1898, cuando Von Peckmann observa que pequeñas partículas de sustancias blancas floculentas, que pueden ser cristalizadas de cloroformo, se separan de soluciones etéreas de diazometano almacenado. Aunque la presencia de platino o sodio catalizan algo la formación de este sólido, la cantidad obtenida es insuficiente para estudiarse.

Dos años después, Hamberger y Tschiner obtienen una cantidad apreciable de este material, pudiendo determinar lo siguiente; - Fórmula general $(CH_2)_n$, Punto de fusión $128^{\circ}C$. El material es llamado polietileno.

Una serie de estudios con diazo-olefinas da como resultado productos de propiedades que varían entre ceras cristalinas y vidrios amorfos con pesos moleculares entre 200 y 14000. Todos estos materiales resultan muy caros, de manera que los descubrimientos no son comercialmente interesantes.

El inicio real del polietileno parte del descubrimiento en 1933, de los doctores E.W. Fawcett y R.O. Gibson de la Imperial-Chemical Industries (ICI) de Inglaterra, sobre el proceso de alta presión. (2)

Este descubrimiento accidental, genera un gran estudio de las propiedades del etileno a altas presiones.

Después de un receso inicial causado por las explosiones ocurridas durante los primeros experimentos, el proceso se desarrolló rápidamente. El material resulta ser el aislante idóneo para el radar que Inglaterra desarrolla en esta época. En 1938 se produce la primera tonelada en una planta piloto, en 1940 la producción llega a 100 toneladas y al finalizar la guerra es de 1500 toneladas.

Después de la guerra el uso del polietileno en aplicaciones civiles tiene gran aceptación; aislante de alambre, moldes por inyección, película para empaque y botellas irrompibles son algunos de sus usos. Su demanda es tal que en 1952 una corte federal determina que ICI debe modificar su patente, para permitir que otras industrias lo fabriquen. A pesar de esto la demanda continúa aumentando y la resina producida se usa rápidamente.

En la década de los 50s se presenta una serie de patentes en la polimerización del etileno. Todas estas tienen en común el uso de catalizadores sólidos, la operación a bajas presiones y la producción de un polímero más duro y fuerte que el polietileno de ICI. El material producido por este proceso se llama polietileno lineal (alta densidad) y las principales tecnologías corresponden a: Phillips, Ziegler y Standard Oil. La diferencia entre ellas es básicamente el tipo de catalizador empleado.

2.2. Estructura Química.

El análisis del polietileno (C, 85.7%; H, 14.3%) corresponde a la fórmula empírica $(CH_2)_n$, resultante de la polimerización -- por adición del etileno. La molécula no es una cadena sencilla -- de grupos metilo. La cadena ramificada de un polietileno típico difiere de la de un alcano de cadena recta por grupos olefinicos de por lo menos tres tipos $-RCH=CH_2$, $RCH=CHR$ y $RR' C=CH_2$, -- (este último es el más abundante); puede contener también ---- otros grupos químicos derivados del catalizador usado en su fa-- bricación o de impurezas en el etileno, pero esto representa me-- nos del 0.1 % en peso del polímero. Los grupos olefinicos y ---- otros grupos no parafinicos influyen poco en las propiedades fi-- sicas del polímero, pero pueden influir en la actividad química. Los grupos que contienen oxígeno derivados del catalizador cau-- san un afecto importante en ciertas propiedades eléctricas. Por-- otro lado la condición ramificada de la cadena influye profunda-- mente en las propiedades físicas tanto del sólido como del polie-- tileno fundido. La estructura química se estudia por medio de la espectroscopia infrarroja. El número de ramas medido por la con-- centración de grupos metilo puede correlacionarse con diferentes propiedades físicas del polietileno sólido.

2.3. Estructura Física del sólido.

El carácter más importante de la estructura física del polie-- tileno es la cristalinidad parcial del sólido. Un polimetileno --

no ramificado es casi completamente cristalino, un polietileno lineal tiene una estructura parcialmente cristalina, parcialmente amorfa y muestra un cambio gradual a medida que aumenta la temperatura, hasta el estado completamente amorfo fundido. Son varias las propiedades que afectan la cristalinidad y en consecuencia el grado de ramificación: dureza, punto de reblandecimiento y punto de cedencia por la tracción. A su vez las propiedades que se ven afectadas por el peso molecular medio son: la resistencia a la tracción, flexibilidad a temperaturas bajas y resistencia al choque. (23)

La estructura de las regiones cristalinas del polietileno ha sido averiguada en detalle por la cristalografía de rayos X. La célula unitaria es ortorrómbica y las moléculas están completamente extendidas en planos paralelos. El esqueleto molecular forma zigzag de átomos de carbono, la distancia interatómica es aproximadamente de 1.5 Å y el ángulo entre las ligaduras C-C un poco mayor que el ángulo tetraédrico. El examen de película delgada o polvo precipitado de polietileno en un microscopio polarizante muestra una estructura esferulítica en la cual las moléculas están colocadas perpendicularmente al radio de la esferulita. Los estudios de los modos de cristalización del polietileno desde su estado fundido muestran que la cristalización empieza en puntos distribuidos al azar en la masa de material y prosi---

guen radialmente hacia afuera con una rapidez que depende de la temperatura a la cual se produce la cristalización.

2.4. Clasificación.

El polietileno es categorizado de acuerdo a su densidad, ya que ésta característica está en función directa de la cristalinidad y representa una medida más cómoda, además de que las propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas varían con la densidad y ésta a su vez depende de la estructura molecular del polímero, por lo que de manera general el polietileno se clasifica en tres tipos; (19).

Baja densidad	de 0.910 a 0.925 g/cm ³
Media densidad	de 0.926 a 0.944 g/cm ³
Alta densidad	de 0.945 a 0.970 g/cm ³

Debido a la marcada influencia que tiene el peso molecular sobre las características generales del producto, podemos hacer una subdivisión en; (16).

Polietileno de bajo peso molecular (menor de 12 000) y

Polietileno de alto peso molecular (mayor de 14 000).

2.5. Usos.

De entre los plásticos el polietileno es quizá el más versátil. Solo el mencionar algunos de los artículos que son producidos con polietileno nos dará una idea de los usos que como produ

to terminado tiene.

- Película alta transparencia. Se presenta en rollos de todos los calibres y todos los anchos, para la producción de bolsas transparentes de diversos tamaños, bolsas impresas y -- pigmentadas, empaques de legumbres y en general de alimentos, empaque de camisas, trajes, zapatos, artículos de oficina, fundas de discos, artículos eléctricos, etc.
- Película alta resistencia. Para fabricar sacos para empaque de granos, fertilizantes, productos químicos, etc.
- Laminación de sustratos. Son de mencionarse especialmente - los envases de leche hechos de cartón con el interior prote gido por una capa de polietileno.
- Película transparente y pigmentada para uso en agricultura: canales, drenajes, invernaderos, recubrimiento de frutales- etc.
- Recubrimiento de cables.
- Tuberías y mangueras.
- Artículos para construcción: pánels, perfiles, cintillas, - tuberías conduit, tubería sanitaria.
- Partes industriales y partes automotrices.
- Envases de todo tipo y tamaño (frascos, botellas, garrafo- nes, tambores, tinacos, etc.).
- Línea hogar (vasos, platos, palanganas, cubiertos, raci--- pientes para alimentos, cubetas, saleros, etc.).

-----Monofilamentos para cordeleria e industria textil.

-----Juguetes.

-----Cajas de refrescos.

METODOS DE FABRICACION DE POLIETILENO.

3.1. Método de Alta Presión.

Originalmente desarrollado por la Imperial Chemical Industries (ICI) todavía es el método mediante el cual se obtiene la mayor cantidad de polietileno. Por motivos económicos su uso está limitado a la producción de polietileno de densidad baja y media.

El proceso se lleva a cabo de la siguiente manera: El etileno proveniente de planta como gas a temperatura moderada y presión atmosférica es comprimido por un compresor de diseño convencional (compresor primario), seguidamente pasa a un compresor de diseño especial (compresor secundario), pasando después por un enfriador y de aquí al reactor.

Se utilizan reactores tubulares o autoclaves con agitación en proceso de flujo continuo; la polimerización en el reactor es una polimerización típica de radicales libres utilizando para ello generadores de radicales libres llamados iniciadores siendo los más usados los peróxidos de lauroilo, de caprilo y de cumeno. La polimerización del etileno en un reactor de alta presión es extremadamente rápida, produciendo una molécula de polímero completa en una fracción de segundo. Al mismo tiempo es muy exotérmica, de manera que la producción depende de la cantidad de calor que se puede manejar limitándose la conversión a un 10 o 15 % en peso del gas alimentado. Las condiciones en el reactor requieren una temperatura -

PROCESO DE ALTA PRESION

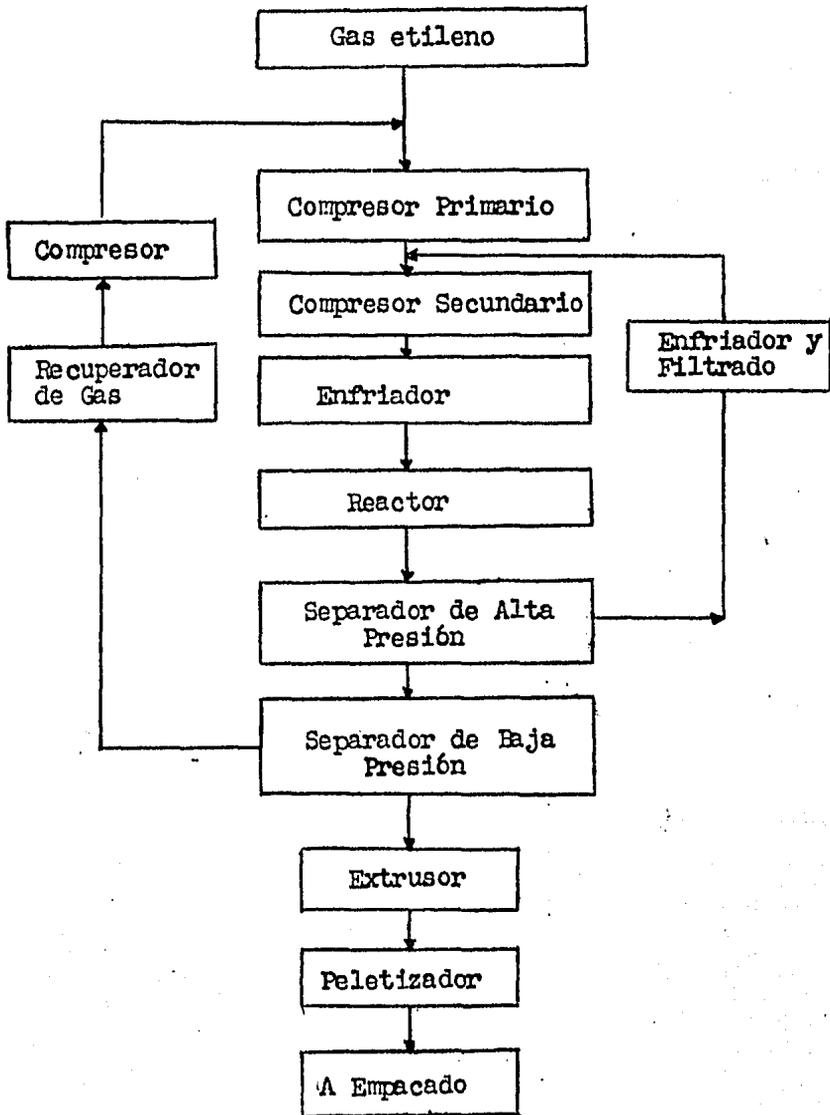


Diagrama de Flujo de obtención de polietileno (Baja Densidad).

de 93 a 260°C y una presión de 15000 a 50000 psi. (21)

Del reactor se pasa a un separador de alta presión de donde el etileno que no reaccionó es recirculado a la salida del compresor primario, no sin antes ser enfriado y filtrado; del separador de alta presión pasa a un separador de baja presión donde nuevamente el gas que no ha reaccionado es enfriado, comprimido y enviado a la alimentación del compresor primario, mientras que el polietileno en forma de líquido viscoso es homogeneizado en un extrusor, a la salida del cual se corta a ras para obtener gránulos los que son enfriados en un baño de agua, luego secados y transportados neumáticamente hasta la planta de mezclado, en la que las pequeñas variaciones en la calidad del producto son ajustadas. La operación del sistema de mezclado consiste en lo siguiente: De la planta se manda neumáticamente el polietileno granulado a silos, donde se recibe en un ciclón, con el objeto de eliminar así polvo, peluza, material contaminante. Seguidamente pasa por un separador magnético con el fin de eliminar impurezas metálicas y se cuantifica la producción (báscula de 20 kg). El polietileno se acumula en los silos de espera donde se le determina su índice de fluidez y si está dentro de especificaciones pasa a silos de almacenamiento y de éstos a sacos de 25 kg. cada uno. Si no es así y está dentro del rango de mezcla se manda al silo mezclador para ajustar el índice con polímero de otros silos de espera. Si-

el polimero está fuera de rango de mezcla, se saca por la línea de producto fuera de especificación y se envasa.

3.2. Método de Baja Presión (polietileno alta densidad).

En este método la reacción se efectúa en áreas activas de un catalizador sólido, que puede ser sílica alúmina impregnada con una pequeña cantidad de óxido metálico. Las técnicas de preparación y activación de los catalizadores no sólo determinan la actividad o eficiencia de los mismos sino también las propiedades de la resina producida. Básicamente existen tres tecnologías: -- Phillips, Standard Oil y Ziegler. En los procesos Phillips y --- Standard Oil los catalizadores deben activarse antes de entrar en contacto con la mezcla activa. En el proceso Ziegler los componentes del catalizador pueden depositarse por separado en el reactor o mezclarse separadamente. Los tres procesos difieren en el catalizador empleado, pero la principal consecuencia de esta diferencia es el uso por Phillips y Standard Oil de métodos mecánicos para separar el catalizador del producto, mientras que el tratamiento químico es el empleado por Ziegler.

PROCESO DE BAJA PRESION

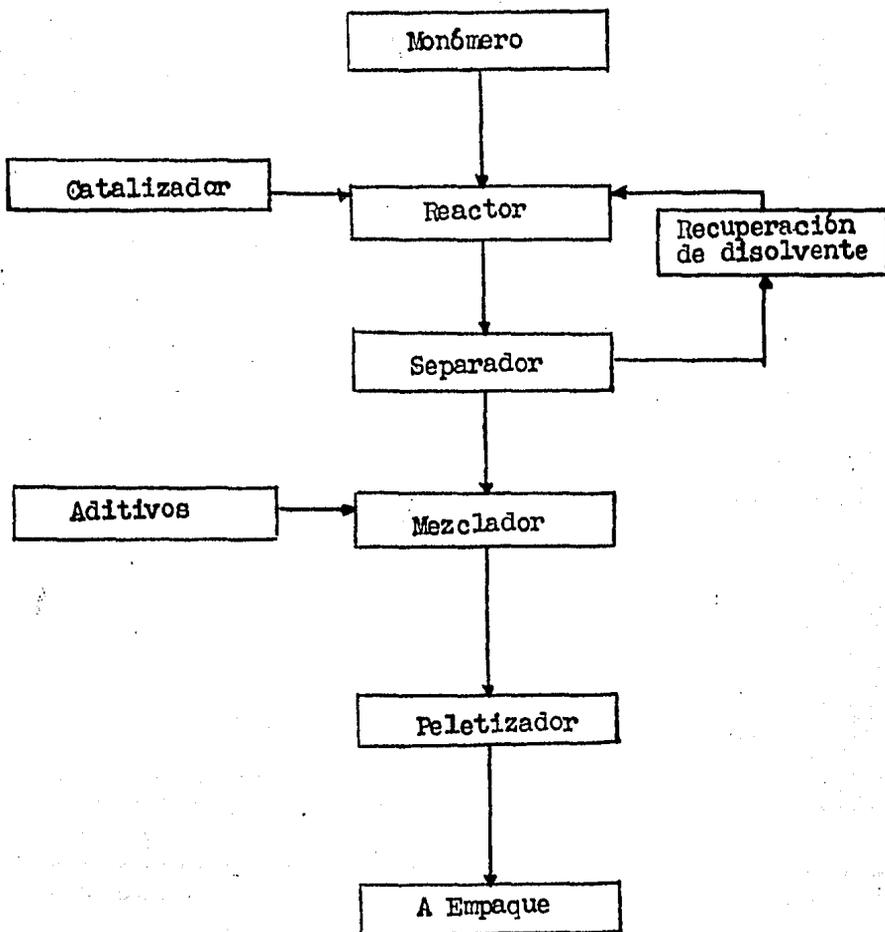


Diagrama de Flujo de obtención de polietileno (Alta Densidad).

CAPITULO 4

CARACTERISTICAS DEL POLIETILENO.

Son muchas las propiedades que pueden caracterizar en conjunto a la resina de polietileno. Unas cuantas de ellas bastan a veces - para determinar el tipo de polimero y su comportamiento; en otras - ocasiones se requiere expresar los valores de propiedades secundarias para poder completar el panorama de definición de una resina - polietilénica.

En este capítulo se describen prácticamente las característi-- cas más usuales, aunque no participen del total de ellas todos los tipos de polietileno. La expresión cuantitativa se aplica, segun - el caso, al PAD o al PED o bien a ambos, lo que indica que hay pro - piedades comunes de identificación y las hay específicas.

4.1. Forma.

Sólido a temperatura ambiente.

4.2. Color

Blanco Ceroso.

4.3. Olor.

Inodoro.

4.4. Sabor.

Insipido.

4.5. Densidad.

Depende de la estructura molecular del polimero. El polietile- no llamado de baja densidad tiene una estructura en su mayor -

proporción amorfa (debido a la presencia de ramificaciones en la cadena polimérica) y sus valores están comprendidos entre 0.910 y 0.925 g/cm³. El de media densidad varía de 0.926 a 0.944 g/cm³. El de alta densidad (polietileno lineal) posee estructura esencialmente cristalina y sus valores están entre 0.945 y 0.970 g/cm³.

4.6. Índice de Fluidéz. (MFI).

Es una medida de procesabilidad del material, se expresa en g/10 min. (peso del polímero extruido en un cilindro estandarizado y por efecto de un pistón de peso determinado, en 10 minutos). El índice de fluidez está en función inversa del peso molecular del polímero. Generalmente su valor se encuentra entre 0.3 y 45 g/10 min.

4.7. Peso molecular.

Los polietilenos comerciales son materiales polidispersos, lo que significa que cualquier muestra del producto está formada por moléculas de diferente peso. Por lo tanto cuando se habla de peso molecular, se habla de un peso molecular promedio. El peso molecular tiene una influencia importante en la variación de las propiedades. Una medida del peso molecular la constituye el índice de fluidez. Los pesos moleculares varían de 20000 a 50000. (17).

4.8. Estabilidad.

El polietileno presenta una estructura parafínica por lo que -

es de los polímeros más estables e inertes, sin embargo puede ser afectado por sustancias oxidantes observándose cambios en las propiedades, como pérdida de resistencia mecánica, reducción de peso molecular, aumento en el factor de potencia, así como desarrollo de olor y color. La oxidación puede inhibirse parcial o totalmente mediante el uso de antioxidantes adecuados.

4.9. Resistencia a Soluciones.

Es muy resistente a los ataques de ácidos diluidos, álcalis y soluciones salinas. Es atacado por ácidos fuertes, especialmente los oxidantes, tales como el nítrico, así como es vulnerable al permanganato de potasio y al peróxido de hidrógeno a temperaturas elevadas. El polímero sólido es bastante resistente al flúor y al ácido fluorhídrico a temperatura ambiente. El cloro lo ataca solo en la superficie, y a temperaturas elevadas los halógenos reaccionan por sustitución con el polímero formando los ácidos correspondientes.

4.10. Toxicidad.

El polietileno no es tóxico y es además biológicamente inerte.

4.11. Solubilidad.

Los hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados causan modificaciones en sus propiedades físicas, que se recuperan al evaporar el disolvente. Solo materiales no volátiles como ---

así como lubricantes, vaselinas, grasas o aceites animales o vegetales causan daño permanente en el polietileno baja densidad. A temperatura superior a 70°C , se disuelve en tolueno, xileno, acetato de amilo, tricloro etano, hidrocarburos, clorados, tetralina, decalina, éter de petróleo, aguarras, aceite lubricante y parafinas, el polietileno alta densidad. Después de los 100°C es totalmente miscible cualquier polietileno, en toda proporción, siendo la decalina el mejor disolvente. Al enfriar el polietileno se separa de sus soluciones formando una pasta o gel. (22).

Insoluble a toda temperatura en agua, etanol, acetona, glicerina, ácido acético y disulfuro de carbono.

4.12. Permeabilidad.

A líquidos. Pobre en el caso de líquidos polares orgánicos, aumenta cuando se trata de líquidos orgánicos no polares; casi nula la permeabilidad al agua.

A gases. Baja permeabilidad a vapor de agua, gran permeabilidad a vapores orgánicos y gases. (22)

La combinación de permeabilidad alta a bióxido de carbono y oxígeno y baja permeabilidad a vapor de agua, es lo que hace de la película de polietileno un empaque perfecto de productos vegetales frescos (se permite la respiración del vegetal y al mismo tiempo se evita su deshidratación), así como no es recomendable como empaque en perfumería.

4.13. Resistencia Ambiental.

La acción del medio ambiente hace que el polietileno se degrade y agriete después de cierto tiempo de trabajo. Este fenómeno es más notorio si el polietileno se encuentra en contacto directo con detergentes, disolventes o ácidos. La resistencia al agrietamiento representa el índice de durabilidad y resistencia química. Esta propiedad está en función del polímero empleado, las condiciones de moldeo y diseño del artículo.

4.14. Tenacidad.

Alta.

4.15. Resistencia al Impacto.

Buena. Los valores están comprendidos de 150 a 850 gramos en película, y en el PAD los valores van de 7 a 25 kg-cm/cm.

4.16. Flexibilidad.

Buena flexibilidad, aún a temperaturas muy bajas.

4.17. Aislante Eléctrico.

Excelentes propiedades como aislante eléctrico.

4.18. Acabado.

Para fines de presentación se puede afirmar que retiene bien colorantes y pigmentos.

4.19. Termoplasticidad.

Se puede utilizar con las técnicas de fabricación de los termoplásticos, básicamente: extrusión, moldeo por soplado y moldeo-

por inyección.

De estas características se desprenden las mediciones más comunes que se realizan para la definición de los tipos de polietileno y que son llamadas valores típicos. Esto significa que -- además de determinar la densidad y el índice de fluidez, se -- realizan mediciones procesando la resina y valorando varias -- propiedades, valores que sirven de guía para el mejor uso de -- la resina según las distintas necesidades que sean requeridas.

Propiedades Ópticas.

a) Nebulosidad.

Aspecto turbio que presenta una película de polietileno, -- provocado por la dispersión de la luz al incidir sobre ---- ella. Esta propiedad se reporta en porcentaje, siendo mejor cuanto menor sea el valor expresado. (De 5 a 6% en el PED).

b) Claridad.

Se determina la transmisión de la luz en una muestra de película y se reporta la claridad como la intensidad máxima. -- Una transmisión elevada indica una buena claridad. (aproximadamente 22 unidades en el PED). (19, 20)

c) Brillo.

Representa la cantidad de luz reflejada por una muestra de película. Valores altos indican alto brillo. (aproximadamente 70 unidades en el PED). (19, 20).

Propiedades Mecánicas.

d) Resistencia al impacto.

Se determina sobre una muestra de película perfectamente tensa, se expresa en gramos. (De 150 a 850 gramos en el PED en película de 0.0038 cm de espesor, y en PAD los valores van de 7 a 25 kg-cm/cm). (19,20).

e) Resistencia al rasgado.

En película los resultados se reportan en sentido longitudinal y transversal en porcentaje, estando los valores comprendidos entre 600 a 1100 para el PED.

f) Resistencia al agrietamiento por esfuerzos ambientales provocados (ESCR).

Un artículo de polietileno, moldeado por soplado o por inyección, destinado a contener un detergente, solvente o ácido etc., puede agrietarse bajo ciertas condiciones desfavorables. El agrietamiento está en función del polímero empleado, de las condiciones de moldeo y del diseño del artículo. Como es difícil que algún método tome en cuenta todos estos factores en forma conjunta, esta propiedad no se expresa cuantitativa, sino cualitativamente como regular, buena o excelente. (19,20).

g) Módulo de Rigidez.

Se puede expresar como módulo de rigidez, de la elasticidad

o de tensión y se reporta en kg/cm^2 . Entre más alto sea su valor, más rígido será el polietileno. La rigidez aumenta con la densidad y en menor grado, con la disminución del índice de fluidez. Los valores están comprendidos entre 11000 y ---- 19000 kg/cm^2 para el PAD.

h) **Elongación al punto de ruptura.**

Se expresa como el porcentaje de dicho alargamiento de pelicula o placa de polietileno en relación al largo original. Disminuye a medida que aumenta la densidad. Los valores van de - 700 a 1000% en el PAD.

i) **Punto de reblandecimiento. (VSP).**

Indica la resistencia de un artículo de polietileno a la de - formación, cuando se le aplica calor excesivo. El rango de valores es de 122 a 130°C en el PAD.

CONTROLES DE CALIDAD

5.1. CARACTERISTICAS DE LA RESINA.

1. Determinación de la densidad. (AST M-1505).

Este método cubre la determinación de la densidad de los plásticos sólidos. Se basa en observar el nivel en que un espécimen de prueba se sumerge en una columna de líquido exhibiendo un gradiente de densidad, en comparación con un estándar de densidad conocida.

La densidad se distingue de la gravedad específica en que la razón del peso de un volumen dado del material es igual a un volumen de agua en condiciones estándar, la densidad de un plástico es el peso por unidad de volumen de material a 23°C y se expresa como sigue: $D^{23^{\circ}\text{C}}$, por cc.

Aparatos.

- a) Una probeta graduada con base de vidrio en la que se realizará la prueba.
- b) Un baño a temperatura constante, ajustado para mantener una temperatura constante de $23 \pm 0.01^{\circ}\text{C}$.
- c) Esferas de vidrio calibradas. Es necesario un número de esferas calibradas que cubran el rango de densidad a ser estudiada y distribuidas a través del rango. Las esferas tendrán un diámetro no mayor de 5 mm.
- d) Picnómetro.
- e) Hidrómetros. Un conjunto de hidrómetros cubriendo el rango de la densidad medida.

f) Balanza analítica.

g) Solución estandar. Preparar 400 o 600 ml de la solución estandar (Tabla 5.1) que sea la adecuada para tener un gradiente de densidad, o sea, que la densidad de la solución sea lo más cercana a la densidad que se desea probar.

Muestra.

Consistirá en un pedazo del material que puede ser cortado de cualquier forma de fácil identificación, pero deberá tener unas dimensiones que permitan la más exacta posición medible del centro del volumen de la muestra, cuidando que los cortes de la muestra no sufran cambio en la densidad por fuerzas de compresión. La muestra estará libre de cualquier material extraño y carecer de cavidades o características superficiales que causen un atrapado de burbujas.

Procedimiento.

Colocar suavemente las esferas de vidrio dentro de la probeta que contiene la solución estandar, quitar las esferas que se sumerjan muy lentamente y también las que lo hagan rápidamente, adicionar la muestra dentro de la solución; ya que la muestra tenga un nivel estable proceder a realizar las mediciones, esto es, leer la distancia desde un nivel arbitrario seleccionado hasta el nivel en que se localice la muestra, lo mismo se hace con las distancias a las que -

TABLA 5.1

Sistema	Rango de densidad (g/cc)
Etanol-alcohol bencílico	0.80 a 0.92
Agua- isopropanol	0.79 a 1.00
Isopropanol-dietilenglicol	0.79 a 1.11
Etanol-tetracloruro de carbono	0.79 a 1.59
Tolueno-tetracloruro de carbono	0.87 a 1.59

se encuentren la esfera más próxima superior e inferior a la muestra.

Tomar la distancia de las esferas y la muestra como si pasara una línea a través del centro de volumen hasta el nivel arbitrario seleccionado.

Cálculos.

$$\text{Densidad} = a \times \frac{(x-y)(b-a)}{(z-y)}$$

a, b = Densidad de las 2 esferas estandar (superior e inferior)

y, z = distancia de la esfera estandar al nivel arbitrario (a) y (b) respectivamente.

x = distancia del nivel de la muestra al nivel arbitrario seleccionado.

Reporte.

La densidad se reporta en gramos por centímetro cúbico como el promedio de tres muestras de prueba.

2. Medición del índice de fluidez (MFI). (ASTM D-1238).

Este método describe los aparatos y pruebas para medir la velocidad de extrusión de un termoplástico a través de un orificio de una longitud y diámetro específico, en condiciones dadas de temperatura y presión. El índice de fluidez del polietileno se define como la cantidad en gramos de polímero extruido durante diez minutos a través de un dado estandar -

cuyo orificio tiene un diámetro de 0.0825 pulgadas, por un pistón y carga combinados de 2160 gramos de peso, a la temperatura de 190 °C.

Aparatos.

a) Elastómetro. Consiste de un cilindro de acero de 2 pulgadas de diámetro y 6 3/8 in., de largo, con un orificio de 0.376 ± 0.0003 in., de diámetro (desplazado del centro del cilindro 3/16 in.,) por donde opera un pistón con un peso dado. Además consta de 2 elementos de calentamiento (para mantener la temperatura a 190 °C), un termo regulador y un termómetro. El cilindro está enchaquetado (para aislarlo de perturbaciones térmicas) y en su parte inferior se inserta un dado de 0.315 ± 0.001 in., de largo, con una perforación cuyo diámetro es de 0.0825 ± 0.0002 in., este dado está soportado por una placa de un 1/8 in., atornillada en el fondo del cilindro, con un orificio por donde pasa libremente el extruido.

El pistón que opera es de acero con una longitud efectiva de 6.75 in., con un diámetro externo de 0.373 ± 0.0006 in., y una longitud de 0.25 ± 0.005 in., el diámetro del vástago que acciona el pistón es de 0.350 in. El peso combinado de pistón y carga será de 2160 ± 10 gramos.

Para mantener la temperatura ± 2°C se emplean dos bandas-

eléctricas de 100W que cubren por completo la longitud del cilindro. Un termo regulador de mercurio es usado para controlar la temperatura.

b) Balanza Analítica.

c) Reloj.

d) Equipo para corte y carga de las muestras.

Muestra.

Puede ser de cualquier presentación; gránulos, polvo, tiras de película o cualquier parte moldeada. La muestra simplemente se introduce al cilindro.

Procedimiento.

La temperatura y la carga serán seleccionadas de acuerdo al material, en tal forma que la velocidad del flujo esté comprendida entre 0.15 y 25 gramos por 10 minutos. Para valores de 25 a 250 se utiliza otro dado de diámetro menor.

El aparato debe estar limpio, las temperaturas de cilindro, pistón y muestra deben ser las mismas por 15 minutos.

Cargar la cantidad de muestra como se indica en la tabla 5.2. -- cargar el pistón y ponerlo en posición y en este momento accionar la marcha del reloj. Después de 5 minutos cortar y descargar la porción extruida. Pesar lo extruido en una balanza.

$$\text{MFI} = \frac{600 \times m}{t}$$

MFI = Índice de fluidez.

m = masa promedio de los cortes en gramos.

t = tiempo en segundos después de cada corte.

Tabla 5.2.

MFI. g/10 min.	Peso de muestra en el cilindro, g.	Intervalo de tiempo, min.
0.15 a 1.0	3 a 4	6
1.0 a 3.5	4 a 5	3
3.5 a 10.0	6 a 8	2
10.0 a 25.0	6 a 8	1

5.2. CRITERIOS DE CLASIFICACION DE LA RESINA.

1. Color.

El color deberá ser igual al estandar.

2. Una muestra de 135 g deberá cumplir con lo siguiente:

- a) 0.25% en peso, de granos más largos de 1.25 cm.
- b) Ningún grano mayor de 2.5 cm de largo.
- c) No más de 3 granos triples.
- d) No más de 20 granos dobles.
- e) Ninguna agrupación de más de 3 granos.

3. Contaminantes.

En lo referente a la contaminación, la muestra debe de cumplir con lo siguiente.

- a) Granos oxidados: No más de un grano oxidado en muestra de 670 g.
- b) Contaminación metálica: Ninguna.
- c) Granos coloreados: No más de 3 granos grises en muestra de 670 g. Ningun grano negro en muestra de 670 g.
- d) Cuando cualquier tipo de polímero tenga más de 10 granos -- oxidados en muestra de 670 g se clasifica como tipo G0.

5.3. CARACTERISTICAS DE LA PELICULA.

5.3.1. Ojos de pescado (geles).

La película extruída a partir de la resina debe tener menos de 10 ojos de pescado, sin rayas ni burbujas en un -

metro de película. Los ojos de pescado (geles) que están presentes en la película no solo afectan la apariencia - sino que son causa de que haya rompimientos en la película cuando ésta se jala. Es por lo tanto necesario que se haga la prueba con el propósito de confirmar que el polímero es de una calidad adecuada para obtener un producto final bueno.

Para este efecto se extruye el polímero a manera de obtener una película con el grosor de 40 micras y un ancho de 23.5cm. A fin de cuantificar los ojos de pescado se coloca la muestra en la mesa de inspección y se observa con la ayuda de una lámpara de luz fluorescente.

5.3.2. Nebulosidad. (ALK-59).

La nebulosidad de una película de polietileno es el porcentaje de la luz transmitida que, al pasar a través de la muestra, se desvía de la dirección del haz incidente. Esta propiedad se reporta en porcentaje, siendo mejor -- cuanto menor sea el valor expresado.

5.3.3. Claridad. (ALK-79).

Se mide empleando una técnica en la cual la luz de una fuente luminosa se hace pasar a través de una muestra de película. Se determina entonces la transmisión de la luz por medio de una fotocelda y la claridad se reporta como

La intensidad máxima.

5.3.4. Brillo. (ALK-65).

Representa la cantidad de luz reflejada por una muestra de película, es decir la relación que existe entre el haz de luz reflejada por una muestra y el haz incidente. El valor obtenido se multiplica por 10 para obtener las unidades de brillo. Los valores altos indican alto brillo.

5.3.5. Prueba de resistencia al impacto a la película por caída libre del dardo. (ALK-67).

El mayor porcentaje del polietileno es utilizado en la fabricación de película para empaque, por lo que la resistencia al impacto es una propiedad importante. En esta prueba se determina la cantidad de impactos necesarios para romper el 50% de los especímenes de prueba; la resistencia al impacto depende del grosor de la película.

$$E = \frac{W_f}{2} \times W_s \times H$$

E = Resistencia al Impacto en kg por metro.

W_f = El peso del dardo en kg que más se utilizó en la prueba.

W_s = Peso del dardo en kg de la pesa que más se utilizó -

en segundo lugar.

H = Altura de la película al dardo en metros.

5.3.6. Alargamiento. (ASTM D-638).

El alargamiento es la extensión que sufre una muestra de película o placa de polietileno por la acción de una fuerza, y se determina en el momento de la ruptura. Se expresa como el porcentaje de dicho alargamiento en relación al largo original. Disminuye a medida que aumenta la densidad.

5.3.7. Resistencia al rasgado. (ASTM D 1923-67 T).

Se expresa como la fuerza que se necesita para rasgar la película. En este método se emplea un plano inclinado para facilitar el movimiento de la carga aplicada necesaria para romper el espécimen. El ángulo de inclinación de la mesa será tal que la carga aplicada tenga una velocidad constante sobre el espécimen. La velocidad de separación, del agarre, varía dependiendo de la elongación característica del espécimen probado.

Los resultados se reportan tanto en el sentido de la extrusión en la máquina, como para el sentido transversal y con relación al espesor de la muestra.

5.4. CARACTERISTICAS DE ARTICULOS MOLDEADOS Y SOPLADOS.

5.4.1. Resistencia al agrietamiento por esfuerzos ambientales --

provocados. (ESCR).

Un artículo de polietileno, moldeado por soplado o inyección destinado a contener un detergente, solvente o ácido, etc., puede agrietarse bajo ciertas condiciones desfavorables.

La resistencia al agrietamiento o "craqueo", es una medida de su comportamiento en las condiciones mencionadas. Esta propiedad está en función del polímero empleado, de las condiciones de moldeo y del diseño del artículo.

Como es difícil que algún método tome en cuenta estos factores en forma conjunta, esta propiedad no se expresa --- cuantitativa, sino cualitativamente, como "regular", "buena" o "excelente".

5.4.2. Módulo de rigidez. (ASTM D-790).

La rigidez aumenta con la densidad y en menor grado, con la disminución del índice de fluidez.

Se puede expresar como módulo de rigidez, de elasticidad o de tensión, y se reporta en kg/cm^2 . Entre más alto sea su valor, más rígido será el polietileno.

5.4.3. Punto de reblandecimiento. (VSP) (ASTM D-1525).

El punto de reblandecimiento por calor que no debe confundirse con el punto de fusión es la temperatura a la cual el polietileno sufre un reblandecimiento que permite la -

penetración de 1 mm de una aguja de dimensiones conocidas. Indica la resistencia de un artículo de polietileno a la deformación, cuando se le aplica calor excesivo.

5.4.4. Resistencia al impacto. (ASTM D 256-56).

Este método se usa para determinar la relativa susceptibilidad a la fractura por choque, en materiales plásticos, utilizando para este fin una máquina (tipo péndulo) para medir el impacto que logra la ruptura, indicado por la energía gastada por un péndulo estandar al golpear un espécimen de prueba.

PROCESAMIENTO DEL POLIETILENO.

Básicamente son tres las maneras de procesar el polietileno: extrusión, moldeo por soplado y moldeo por inyección.

6.1.Extrusión.

Consiste en plastificar la resina por calor y presión en un cilindro hueco forzándola con un tornillo a pasar por una matriz o dado para obtener en forma continua la masa del polímero.

Para lograr ésto es necesario que el extrusor cuente con ciertos elementos, el más usual es un cilindro provisto de sistema de calentamiento, enfriamiento, y control de temperatura, dentro del cual hay un tornillo o gusano helicoidal que es movido por un motor con su respectivo motoreductor de velocidad.

De esta manera el extrusor se divide en tres zonas: alimentación, compresión y dosificación.

La zona de alimentación recibe el polietileno por medio de una tolva, aumentando la presión a la resina a medida que avanza a la siguiente zona de compresión y los gránulos de polietileno se convierten en una masa completamente plastificada de temperatura uniforme; la zona de dosificación tiene la función de regular el flujo del material plastificado del cabezal al dado. (14,15,24).

Funcionamiento del extrusor.- En el convencional de un solo -- tornillo el polietileno transportado pasa por tres estados: -- primero como partículas sólidas, luego como una mezcla de plás-- tico fundido con partículas sólidas y finalmente como una masa totalmente plastificada. (19).

Los gránulos de polietileno pasan por gravedad de la tolva a - la garganta del cilindro, llegan al contacto con el cilindro - y son transportados hacia adelante por el movimiento de rota-- ción del tornillo y la pared interna del cilindro, transformán-- dose en una masa fundida homogénea (el calentamiento es debi-- do a resistencias eléctricas a través de la superficie del ci-- lindro), pasando por un paquete de mallas (para detener los-- materiales extraños) y aumentar la contrapresión en la super-- ficie interior del cilindro y continuar a través del dado para obtener en forma continua la masa plastificada del polímero. - Por extrusión del polietileno se fabrica tubería, recubrimien-- to de alambre y cable y perfiles en general. La mayor cantidad se procesa para la obtención de película que puede ser tubular o plana (la película de polietileno puede usarse en recubri-- miento de papel y otros sustratos).

Película Tubular.

En este proceso el material plastificado es extruido a través-- de un dado anular, donde se expande al salir, para formar una-

burbuja mediante la introducción de aire a presión a través - del torpedo y finalmente es atrapado por unos rodillos de pre sión; la película plegada se enrolla bajo tensión constante - en un sistema de dos rodillos intercambiables.

Película Plana.

En la elaboración de la película plana se utiliza un dado di- ferente al empleado para la película tubular, ya que éste es - en forma de anillo y el de película es recto.

6.2. Moldeo por Soplado.

Este proceso consiste en inflar con aire una pieza tubular de polietileno plastificado, la cual se produce en un extrusor - después de pasar por un dado anular; la pieza tubular llamada "Parison" o preforma, es atrapada entre dos secciones huecas - de que se compone el molde y al inyectarle aire a presión, se obliga al material plastificado a tomar forma del referido -- molde. Después la pieza enfriada es expulsada al abrir el mol de. Del espesor de la preforma depende el espesor de la pared del artículo así obtenido.

Cuando el objeto por moldear es de gran tamaño, es necesario - adaptar al extrusor un acumulador, para reunir el polietileno plastificado que sale continuamente y desalojarlo después, -- con objeto de formar un "Parison" apropiado, por el impulso - de una carrera de pistón. (14,15,24).

Artículos Soplados. El buen resultado del servicio de los artículos soplados depende del polímero empleado en su elaboración, del diseño, de las condiciones adoptadas en su fabricación y - el manejo al cual se le someta posteriormente. En el diseño de botellas y recipientes debe evitarse los ángulos agudos y todas las esquinas deben ser redondeadas ampliamente.

6.3. Moldeo por Inyección.

El proceso es cíclico, donde los gránulos de polietileno se calientan hasta que se plastifican en un cilindro. El material - plastificado es forzado a pasar a un molde por medio de un pistón, o bien impulsado por el avance del tornillo de plastificación. En el molde enfriado con agua, el polietileno vuelve al estado sólido, obteniéndose así una pieza con la forma deseada la cual es eyectada al abrirse el molde. Los elementos de una máquina de inyección son: a) un pistón de inyección que es accionado por presión hidráulica e impulsa al plástico a través del cilindro de calefacción de la tobera y lo introduce al molde, (en las máquinas modernas en lugar del pistón se utiliza un tornillo similar al utilizado en el proceso de extrusión) b) una tobera que es el aditamento que comunica al cilindro y al molde. El área de contacto entre el molde y el cilindro es usualmente pequeña, con el fin de evitar la conducción de calor hacia el molde. (14,15,24).

e) un molde, que es una pieza hueca que se llena con el polímero para producir un objeto con la forma deseada; tiene la función además de eliminar el calor para solidificar al plástico por lo que cuenta con un sistema de enfriamiento con agua.

Sistema de Cierre.-Mantiene cerrado al molde durante la inyección y enfriamiento, la fuerza de cierre se obtiene con un sistema hidráulico.

Sistema Hidráulico.-Sirve para mover las partes de la máquina durante su operación. Permite los movimientos rápidos del sistema de cierre y del pistón al iniciar su carrera y un movimiento lento y a mayor presión al terminar, en las máquinas de inyección a pistón. En las máquinas de inyección a tornillo, proporciona el movimiento para abrir y cerrar el molde, en el ciclo de inyección.

Cilindro de Calefacción.-Consiste en un tubo metálico hueco, donde se plastifica el material y permite el paso de éste para que el pistón o el tornillo lo inyecte dentro del molde.

Bandas de Calefacción.-Son resistencias eléctricas colocadas al rededor del cilindro de calefacción, las cuales proporcionan el calor para fundir el material por moldear, tienen control de temperatura individual. (14,15,20,24).

CAPITULO 7

MATERIALES RESIDUALES DERIVADOS DE LA FABRICACION, ALMACENAMIENTO Y PROCESAMIENTO.

7.1. Fabricación.

Durante la fabricación de la resina de polietileno se obtienen algunas cantidades que no reúnen los requisitos completos de calidad que se fijan al material para un adecuado procesamiento posterior, razón por la cual se les considera como residuales. Las características de estos materiales pueden ser muy variadas y por consiguiente su valor económico industrial se altera, dependiendo del aprovechamiento que pueda dárseles. Aún cuando pueden existir variadas clasificaciones para designar los materiales residuales derivados de la fabricación del polietileno, la que se emplea en nuestro país es considerada dentro de las normas comerciales internacionales y comprende fundamentalmente seis tipos:

7.1.1. Segundas.

Densidad y MFI dentro de especificación y una o más propiedades fuera de especificación.

7.1.2. Segundas por color.

Material con buenas propiedades, pero coloreado de origen.

7.1.3. Gris.

Material con buenas propiedades pero con color gris de-

origen.

7.1.4.G.O.

Material con gránulos oxidados y las demás especificaciones correctas.

7.1.5.Sin tipo.

Sin características definidas en cuanto a densidad y -- MFI, pero con color aceptable. Mezcla de varios tipos -- desde planta.

7.1.6.Contaminación metálica

Material contaminado con impurezas metálicas.

Los procesos de fabricación de Polietileno Baja Densidad y Polietileno Alta Densidad tienden a la obtención de gránulos uniformes de resina que deben cumplir rigurosamente las especificaciones de calidad que se han -- apuntado en el Capítulo 5. Sin embargo, como en todos -- los procesos industriales de manufactura, hay etapas en que se producen desviaciones de los estándares debido a factores que en un momento dado quedan fuera de control originándose situaciones irregulares que desembocan en -- corrientes de materiales anormales intermedios o fina-- les. La eficiencia en las Plantas de Polietileno instala-- das en México es sumamente alta debido principalmente a las tecnologías empleadas, al equipo disponible y a --

la elevada pureza del etileno empleado como materia prima. De hecho los rendimientos son del orden de 98% en base a resinas de primera calidad cuando se mantienen los controles de producción dentro de los límites establecidos. Los volúmenes de polietileno que finalmente tienen que apartarse de la producción normal para ser considerados como materiales de desperdicio, se presentan en variadas formas de acuerdo a la etapa o sección en que son producidos: como gránulos o "pellets" en la última fase, como masas informes en desfuegos o ajustes del equipo, etc.

Los seis tipos mencionados en la clasificación anterior no agotan las posibilidades de presentación del polietileno considerado como merma en el proceso. En términos generales, los tres parámetros que normalmente determinan la calidad y con ello el valor comercial de los materiales de segunda son el aspecto, la densidad y el índice de fluidez, ya que inciden directamente en sus condiciones de procesabilidad y en la presentación de los artículos procesados. Debe decirse sin embargo, que la forma y la contaminación de la resina que se ofrece como "segunda" pueden establecer una gama más amplia de tipos y ampliar y afirmar la clasificación de ellos

ra fines mercadotécnicos. La selección de las mermas de la producción se hace dentro de las propias plantas, -- atendiendo tanto a inspecciones visuales como a resultados reportados por el laboratorio de control. Las decisiones técnicas para la separación de materiales, su envasado, su almacenamiento bajo techo o a la intemperie, en sacos o a granel, etc., se toman en base a los elementos de calificación que se van recibiendo dentro del ritmo que sigue la propia producción y en la medida que no se interfiera ni se bloqueen los espacios físicos -- destinados al movimiento natural correspondiente a los trenes de elaboración.

Los factores involucrados en el proceso, al ser ligeramente alterados en alguna de las secuencias, determinan asimismo las alteraciones del material terminado. La -- temperatura, presión, tiempo de residencia, condiciones de extrusión, etc., se ven reflejados en el color final y en la pureza del "pellet"; la clasificación de los materiales que no son de primera atiende en parte al coloreado de origen y a la contaminación metálica derivada del contacto anormal de la resina con el equipo.

Para fines de utilización práctica y de valoración co-mercial, se estima que los seis tipos de materiales de-

segunda resultantes de la producción nacional, que se ofrecen a los industriales procesadores de resina, responden al movimiento de oferta-demanda en el mercado y mantienen el equilibrio en la disponibilidad global de polietileno que se requiere para el consumo en el país. Debe apuntarse que los esfuerzos para la optimización de la producción básica en las Plantas de Pemex, que se traducen en generación escasa de resina fuera de especificación y en máximo reciclaje de éstos, han tendido a reducir la cantidad disponible de materiales residuales y a mejorar su aprovechamiento por las instalaciones industriales de transformación.

7.2. Almacenamiento.

El almacenamiento de sacos o costales con gránulos de polietileno suele hacerse en bodegas especialmente acondicionadas, donde se respetan ciertas reglas concernientes al estibado, entarimado, espacios entre estibas, vías de circulación. Además se procura que las bodegas reúnan buenas características en cuanto a dimensiones, materiales en paredes y pisos, iluminación y ventilación, en forma que en su interior se mantenga un ambiente favorable para la conservación de la calidad de la resina. Dentro de estos locales el manejo de los sacos debe hacerse con toda propiedad a fin de de-

jarlos intactos, procurándose el empleo de equipo móvil sobre ruedas para el transporte de tarimas y al de bandas para los sacos. La limpieza interior es una práctica siempre recomendable en la bodega así como la obstrucción de todas las posibles entradas de polvo o humedad.

Las condiciones y medidas apuntadas tienden a minimizar la rotura de los sacos, el desperdicio y contaminación de la resina; propician también el manejo expedito de los sacos y su control, facilitan el registro de los inventarios de material y elevan el coeficiente de seguridad para el personal adscrito a las bodegas.

Tanto en bodegas como a la intemperie, el manejo de sacos representa siempre un desperdicio que depende, como se dijo antes, de las medidas que se adopten para reducir el índice de roturas. Este desperdicio, que deja de pertenecer al grupo de materiales de primera, por el solo hecho de entrar en contacto con medios ajenos a su propio envase, se comercializa bajo dos diferentes clasificaciones.

7.2.1. Barredura.

Todo material recuperado del suelo de la bodegas o de otras áreas de almacenamiento, sin seleccionar, normalmente revuelto con polvo y basuras.

7.2.2. Húmedo.

Material con todas sus características dentro de especificaciones, pero húmedo.

El transporte de sacos desde la fábrica a las bodegas de distribución o desde éstas a bodegas de los clientes, genera también mermas de material, ya sea durante la carga y descarga de los camiones o bien durante el tiempo de residencia de los costales en el interior de los vehículos. Es así como también puede recolectarse barredura de los pisos de camiones y "trailers", reen-sacarse y venderse. El almacenamiento y transporte de polietileno a granel representa algunas ventajas sobre el ensacado, sobre todo en lo que se refiere a costo.- Los grandes volúmenes que se manejan para hacer económicamente factible la operación, implican sistemas de carga y descarga muy específicos así como almacenamientos adecuados, generalmente en forma de silos o tanques.

Precisamente por esto son mayores las oportunidades de contaminación en gran escala y el desarrollo de desperdicios de mucha magnitud, susceptibles casi siempre de purificarse y reutilizarse en las plantas transformadoras. Puede decirse en un sentido general que los residuos que producen los consumidores de resinas de polie

tileno se reciclan en un gran porcentaje y es mínima - la cantidad que finalmente se presenta como merma.

En cuanto al almacenamiento de sacos a la intemperie, - la degradación en la calidad de la resina es más signi- ficativa. Aun estando bien cerrados los sacos y adecua- damente estibados, el efecto de los rayos solares, --- vientos, lluvias, cambios de temperatura, se hace sen- tir, manifestándose a la larga, amarilleo de los gránu- los y variación en sus características. El tiradero de material suele ser mucho mayor que cuando se encuen--- tran bajo techo, ya que se intensifica la rotura de -- bolsas y entonces el polietileno queda, al igual que - cualquier producto almacenado a granel, bajo los efec- tos del intemperismo.

La barredura a cielo abierto presenta muchas variantes en cuanto a su calidad, dependiendo del mayor o menor- grado de contaminación con polvo, basura, metales, --- etc., de su humedad, de su aspecto, de su color. Su co- mercialización puede presentar también aspectos dife- -- rentes si se efectúan lotificaciones conforme el grado aparente de degradación o si se pone a la venta como - un conjunto de todos los tipos contaminados.

7.3. Procesamiento.

En las industrias que procesan el polietileno virgen se producen materiales residuales ocasionados por varias circunstancias del propio proceso.

7.3.1. Paros y Arranques.

Esta situación es la más común y corriente por lo que al inicio y al final de la producción dada se obtienen restos de material que pueden considerarse como mermas.

7.3.2. Fallas en el proceso.

En el caso de alguna variación en el proceso, por ejemplo en la elaboración de película tubular (que el globo se rompa), en una mala inyección o sea en el mal llenado de moldes, en el soplado de envases mal formados por falla en la dosificación o en la temperatura del molde, resultan cantidades de productos de polietileno que se apartan de las especificaciones de calidad.

7.3.3. Sobrantes.

Son cantidades de material excedentes resultantes de operaciones de moldeo o de inyección y que por reunir buenas características de procesabilidad, son susceptibles de utilizarse nuevamente.

7.3.4. Cambios de color y/o tipo de resina.

Cuando en los procesos de extrusión, moldeo por soplado y moldeo por inyección se desea realizar un cambio de -

color y/o de resina, la práctica común es alimentar resina virgen para que ésta lleve consigo todo residuo -- del color o de la resina anterior, se evita de esta manera la contaminación de colores y/o de resina. Esta situación es frecuente por lo que arrojan cantidades de -- material residual posible de reciclar.

El polietileno residual de las operaciones de procesamiento no está sujeto a una clasificación precisa y su valor comercial depende de la oferta y demanda del mercado. En situación de escasez de producto, lo normal es que las propias industrias den utilización a sus materiales residuales en vez de ponerlos a disposición de -- compradores ocasionales.

CAPITULO 8

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

8.1. EXPOSICION.

Las posibilidades de utilización de algunos de los materiales residuales de polietileno que se encuentran en el mercado, fueron exploradas en forma experimental en diversas industrias, empleando equipos actualmente en funcionamiento -- destinados a la producción normal de artículos de plástico.

En ciertos casos las pruebas se hicieron a solicitud -- del cliente en su búsqueda de abatimiento del costo de sus productos o de substitución de algún tipo de resina de difícil adquisición. En otros casos se trató de proponer por parte del proveedor algunos materiales de segunda, resultantes de la producción en Planta, que presentaban posibilidades para reemplazar adecuadamente a polímeros de línea cuyo abastecimiento en determinada época resultaba deficiente, o bien -- para suplir resinas de importación que podrían significar serios problemas al industrial por su escasez o alto costo de compra. Las calidades de los materiales probados fueron muy diversas, dentro de la estructura general establecida para la clasificación que se menciona en el Capítulo 7. La experiencia previa de servicio técnico a la industria representó una orientación para definir en forma preliminar los tipos -- de resinas que se probarían; el análisis de las característi

cas de la materia prima y de las propiedades esperadas en el producto final permitieron muchas veces ajustar la selección de la resina residual que debía emplearse. Sin embargo, es en el manejo de las diversas variables del proceso donde se puede encontrar la solución final a un problema de sustitución parcial o total de una resina virgen de polietileno. Materiales que aparentemente eran inadecuados para la fabricación de un determinado artículo, resultaron convenientemente utilizables cuando se variaron las constantes de producción normal, como la temperatura, la presión, la velocidad de estirado, etc.

Debe enfatizarse que la calidad de los productos terminados que se elaboran con materiales polietilénicos residuales está acorde a la calidad de éstos y por consiguiente las características y propiedades alcanzan valores dentro de --- ciertos rangos cuyos máximos pueden acercarse al 100% de las cifras marcadas como especificaciones. Es de esperarse que las modificaciones estructurales en los materiales reciclados repercutan en la calidad final y por ello es que la oferta de artículos manufacturados con resinas residuales o desperdicios debe tender a satisfacer requerimientos de mercado con limitaciones y no pretender que se proporcione con su empleo el mismo rendimiento que por diseño se exige de productos de primera clase.

Se ilustran a continuación algunas de las pruebas que se realizaron con los materiales residuales y desperdicios disponibles del fabricante y proveedor estatal de polietileno.

No se cubren desde luego todas las variánte que serían innumerables, ni se utilizan todas las resinas que en el mercado pudieran considerarse como diferentes a las de primera calidad; sin embargo estimamos que lo que se presenta en este trabajo refleja un muestreo de prueba a escala industrial que revela la utilidad de los materiales que se mencionan y sus múltiples posibilidades.

En todos los casos se trató de resolver un problema particular de la industria involucrada mediante asistencia técnica adecuada, dentro del marco de los propios controles de producción de dicha industria y de sus condiciones normales de trabajo, es decir que no se pretendió alterar mayormente las costumbres establecidas por el personal de planta en lo referente a las prácticas de trabajo, antes bien, se procuró utilizar algún equipo separado momentáneamente del ciclo de producción o hacer las pruebas en equipos de operación durante intervalos de descanso, mantenimiento o reparación.

Los materiales previamente seleccionados para las pruebas se caracterizaron en el laboratorio mediante las técnicas analíticas de control para establecer sus propiedades y después se alimentaron a las máquinas de proceso conservando en-

una primera prueba las mismas condiciones de operación que -- con carga de material virgen; enseguida se efectuaron pruebas variando los diversos factores en forma alternada, hasta llegar a obtener un producto final con las características más -- aproximadas a las del producto que normalmente se venía produciendo con el empleo de resina de primera o las que se requerían por especificación del fabricante.

Se sumarizan los aspectos relevantes de cada caso, consignándose solamente los datos correspondientes a la prueba -- óptima, o sea la que a juicio del cliente y proveedor arrojó los mejores resultados, considerando no solamente las características del producto final sino también las del proceso en -- lo que se refiere a rendimiento y facilidades de operación.

Por razones obvias se omite el nombre de las industrias -- donde se efectuaron las pruebas pero sí se asienta la identificación del equipo de proceso empleado y las variables de su manejo.

El material de carga se señala con su nombre comercial, -- apuntándose sus más importantes características.

En cuanto a los productos elaborados, se establece la -- comparación entre las especificaciones que cubren a los que -- se obtienen en el curso de una producción normal y las características de los trabajados con las resinas residuales.

CASO No. 1

MATERIAL DE PRUEBA Polietileno Faja Densidad 20020 P según das por color

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Aspecto: ligero color amarillo
MFI 2.0 g/10 min.
Densidad 0.920 g/cm³

PRODUCTO FAERICADO Bolsa pigmentada

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO Color verde
Ancho 40 cm.
Calibre 200
Resistencia al rasgado 165 g/milésima

EQUIPO DE PROCESO Extrusor GLOUCESTER
Diámetro del tornillo 50 mm.
Motor 100 H.P.
Capacidad de producción 157 kg/hr.

CONDICIONES DE PRUEBA Dado 20 cm.
Tornillo 60 rpm.
Zonas de calentamiento 5 de 150°C

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO Color verde
Ancho 40 cm.
Calibre 200
Resistencia al rasgado 163 g/milésima

OBSERVACIONES Se tuvo que agregar un 0.5% más de pigmento verde a fin de obtener el mismo color en la película que la que tiene en condiciones normales. Esta película se procesó en bolseadoras dentro de la misma planta, sin ningún problema. La bolsa fabricada probó tener ligeramente menor resistencia al rasgado, pero su finalidad de envasado se cumple satisfactoriamente.

CASO No. 2

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Baja Densidad 20020 G.O.

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto limpio con gránulos oxidados
 MFI 2 g/10 min.
 Densidad 0.920 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Salpicadera de bicicleta

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Peso 68 g
 Superficie tersa
 Color negro uniforme
 Resistencia al impacto 7.894 kg.

EQUIPO DE PROCESO

Inyectora PATTERNFELD
 Capacidad de cierre 150 ton.
 Capacidad de inyección 100 g.
 Capacidad de producción 8.16 kg/hr.

CONDICIONES DE PRUEBA

Ciclo 30 seg.
 Núm. de cavidades una
 Zonas de calentamiento 210, 200, 240°C
 Carga 20% de G.O y 80% resina virgen

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Peso 68 g.
 Superficie tersa
 Color negro no uniforme
 Resistencia al impacto 7.890 kg.

OBSERVACIONES

Esta pieza básicamente cumple los requisitos establecidos; se hizo necesario cambiar mallas con más frecuencia para evitar una taponadura.

CANO No. 3

MATERIAL DE PRUEBA	Poliétileno Baja Densidad 20020 Húmedo
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	Aspecto húmedo MFI 2.0 g/10 min. Densidad 0.920 g/cm ³
PRODUCTO FABRICADO	Manguera roja
ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO	Diámetro exterior 8.89 cm. Diámetro interno 7.79 cm. Superficie lisa Color rojo
EQUIPO DE PROCESO	Extrusor marca BANDERA Diámetro del tornillo 60 mm Motor 30 H.P. Capacidad de producción 21.6 kg/hr
CONDICIONES DE PRUEBA	Dado 8.89 cm. Tornillo 54 rpm Zonas de calentamiento 75,75,80,60,150, 100°C
CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO	Diámetro exterior 8.89 cm. Diámetro interior 7.79 cm. Color rojo Superficie con algunas burbujas
OBSERVACIONES	Fué necesario secar previamente la resina al sol, y friccionarla en sacos de manta. Dado que este material está prácticamente dentro de especificaciones, a excepción de la humedad, mientras más completo sea el secado, mejores serán los resultados obtenidos al extruirlo. De hecho, la diferencia entre el producto obtenido en esta prueba y el normal cuando se emplea resina virgen, residió en el aspecto de la manguera.

CASO No. 4

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Baja Densidad 20020 gris.

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto limpio con gránulos grises
 MFI 2 g/10 min.
 Densidad 0.920 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Bolsa negra uso agrícola

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Ancho 60 cm.
 Calibre 200
 Resistencia al rasgado 63 g/milésima

EQUIPO DE PROCESO

Extrusor marca BANDERA
 Diámetro del tornillo 60 mm.
 Motor 40 H.P.
 Capacidad de producción 76.5 kg/hr

CONDICIONES DE PRUEBA

Dado 20 cm.
 Tornillo 60 rpm.
 Zonas de calentamiento 100,120,120,120,
 150,150,120°C
 Carga: 15% de PED 20020 gris y 85% de -
 PED 20020-P de primera.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Color negro uniforme
 Ancho 60 cm.
 Calibre 200
 Resistencia al rasgado 63 g/milésima

OBSERVACIONES

Fué necesario tener el cuidado de cambiar las mallas frecuentemente para evitar las obstrucciones de las impurezas de la resina. Debido a que esta dificultad ocasiona paros constantes que se reflejan en el rendimiento de la producción, se optó por emplear una carga que tuviera solamente el 15% de 20020 gris. Las cantidades de pigmento y de aditivo antibloqueo no se variaron.

CASO No. 5

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Baja Densidad sin tipo

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto limpio
 MFI 19.8 g/10 min.
 Densidad 0.92 g/cm³

PRODUCTO FAERICADO

Bolsa tipo camiseta

ESPECIFICACIONES NORIA
LES DEL PRODUCTO

Medidas 30x18x60 cm.
 Calibre 125
 Con impresión
 Resistencia al rasgado 165 g/milésima

EQUIPO DE PROCESO

Extrusor marca BANDERA
 Diámetro del tornillo 60 mm.
 Motor 30 H.P.
 Capacidad de producción 22 kg/hr

CONDICIONES DE PRUEBA

Dado 20 cm.
 Zónas de calentamiento 100,120,150,150,
 120°C.
 Carga: 20% de PED sin tipo y 80% de PED
 20020-P de primera.

CARACTERISTICAS DEL PRO
DUCTO ELABORADO

Medidas 30x18x60 cm.
 Calibre 125
 Con impresión
 Resistencia al rasgado 165 g/milésima

OBSERVACIONES

En estas condiciones los resultados fue-
 ron satisfactorios.

CASO No. 6

MATERIAL DE PRUEBA

Poliuretano Baja Densidad contaminación
metálica

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Presenta contaminación metálica
MFI 2 g/10 min.
Densidad 0.920 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Película (bobina)

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Ancho 100 cm.
Calibre 125
Color amarillo
Resistencia al rasgado 165 g/milésima

EQUIPO DE PROCESO

Extrusor REINFENHAUSER
Diámetro del tornillo 50 mm.
Motor 50 H.P.
Núm. de mallas 100-200-400

CONDICIONES DE PRUEBA

Dado 25 cm.
Ancho 100 cm.
Zonas de calentamiento 160,165,160,160,
225°C
Carga: 20% contaminación metálica y 80%
de PBD 20020-P de primera.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Ancho 100 cm.
Calibre 125
Color amarillo
Resistencia al rasgado 165 g/milésima

OBSERVACIONES

Se usó una proporción de 20% de material con contaminación metálica y 80% material virgen previo acondicionamiento con imanes para separar al máximo las partículas metálicas. Se colocaron además otros imanes en la tolva y mallas antes del cabezal. La película obtenida se probó en condiciones de uso normal y trabajó satisfactoriamente.

CASO No. 7

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Baja Densidad Harredura

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto sucio
 MFI 20 g/10 min.
 Densidad 0.920 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Lodera negra

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Peso 93 g.
 Superficie tersa
 Color uniforme negro

EQUIPO DE PROCESO

Inyector BATTERNFELD
 Capacidad de inyección 100 g.
 Capacidad de cierre 150 ton.
 Capacidad de producción 5.6 kg/hr

CONDICIONES DE PRUEBA

Núm. de cavidades una
 Zonas de calentamiento 150, 150, 150°C
 Ciclo 59.8 seg.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Peso 93 g.
 Superficie tersa
 Color uniforme negro

OBSERVACIONES

El material fue acondicionado antes de usarse siendo lavado y secado. El producto se fabrica normalmente con polietileno 20020 x, pero el uso de esta harredura significó una total substitución ya que el artículo terminado presenta características similares a las del que se hace con resina virgen.

CASO No. 8

MATERIAL DE PRUEBA

Poliétileno Alta Densidad 60120 G.O.

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto limpio con gránulos oxidados
 MFI 12 g/10 min.
 Densidad 0.960 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Patas de mueble imitación mármol

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Peso 117 g.
 Color mármol (café-blanco)

EQUIPO DE PROCESO

Injectora NISSEI
 Capacidad de cierre 100 ton.
 Capacidad de inyección 225 g.
 Capacidad de producción 42 kg/hr

CONDICIONES DE PRUEBA

Núm. de cavidades una
 Ciclo 30 seg.
 Zonas de calentamiento 180, 180, 150, 150,
 200°C.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Peso 117 g.
 Color mármol (café-blanco)

OBSERVACIONES

Aun cuando el producto terminado no se somete a pruebas específicas de calidad en laboratorio sino solamente a inspección visual y pruebas empíricas, no se apreció diferencia en el aspecto y comportamiento de las partes fabricadas -- con G.O.

CASO No. 9

MATERIAL DE PRUEBA

Poliétileno Baja Densidad Barredura

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto sucio
MFI 2 g/10 min.
Densidad 0.920 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Película uso agrícola (bolsa)

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Calibre 300
Color negro uniforme
Resistencia al rasgado 165 g/milésima
Ancho 90 cm.

EQUIPO DE PRUEBA

Extrusor Master-Matic
Diámetro del husillo 60 mm.
Motor 8.5 H.P.
Capacidad de producción 20 kg/hr.

CONDICIONES DE PRUEBA

Dado 57 cm.
Zonas de temperatura 125, 125, 125, 125, 125°C.
Carga: 15% de barredura y 85% de PED virgen
20020-P de primera.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Calibre 300
Color negro uniforme
Resistencia al rasgado 165 g/milésima.
Ancho 90 cm.

OBSERVACIONES

Se acondicionó el material (barredura), lavándolo, secándolo y agregándole porcentajes mínimos de pigmento y de aditivo anti-deslizante. Las características de la bolsa fabricada con esta mezcla y la que se hace con resina virgen son similares.

CASO No. 10

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Alta Densidad 60120 G.O.

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto con gránulos oxidados
MFI 12 g/10 min.
Densidad 0.96 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Canastilla (para desodorante)

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Peso 35 g.
Color rojo uniforme
Superficie tersa

EQUIPO DE PROCESO

inyector BATTERNFELD
Capacidad de cierre 100 ton.
Capacidad de inyección 225 g.
Capacidad de producción 8.4 kg/hr

CONDICIONES DE PRUEBA

Ciclo de 15 seg.
Núm. de cavidades cuatro
Zonas de temperatura 210, 210, 210, 160°C.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Peso 35 g.
Color rojo con pequeños puntos ligeramente más oscuros.
Superficie tersa.

OBSERVACIONES

El aspecto de la pieza es aceptable, por lo demás cumple las especificaciones empíricas que se tienen establecidas por el fabricante, como son: resistencia al estiramiento y al impacto.

CASO No. 11

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Alta Densidad 60120 Gris

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto grisáceo
MFI 12 g/10 min.
Densidad 0.960 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Cesta cerrada

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Peso 1.600 kg
Color rojo
Resistencia al impacto 7 kg-cm/cm.

EQUIPO DE PROCESO

Inyector TRIULZI
Capacidad de cierre 950 ton.
Capacidad de inyección 3.973 kg
Capacidad de producción 96 kg/hr.

CONDICIONES DE PRUEBA

Ciclo 60 seg.
Núm. de piezas una
Zonas de temperatura 180,180,150,150,
200°C
Carga: 20% de PAD 60120 gris y 80% de
PAD 60120 de primera.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Peso 1.600 kg.
Color rojo
Resistencia al impacto 7 kg-cm/cm.

OBSERVACIONES

Se tuvo el cuidado de hacer cambios de malla más frecuentes. Se agregó pigmento para ajuste. Las piezas obtenidas muestran similitud de características de acuerdo a las pruebas elementales que se verifican como control de esta fábrica.

CASO No. 12

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Alta Densidad sin tipo

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto limpio
 MFI 12 g/10 min.
 Densidad 0.960 g/cm³
 Resistencia al impacto 7 kg-cm/cm.

PRODUCTO FABRICADO

Basurero

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Peso 650 g.
 Superficie tersa
 Color amarillo

EQUIPO DE PROCESO

Inyector BATTERNFELD
 Capacidad de cierre 380 ton.
 Capacidad de producción 57.1 kg/hr
 Capacidad de inyección 754 g.

CONDICIONES DE PRUEBA

Ciclo 41 seg.
 Núm. de piezas: una
 Zonas de calentamiento 240, 240, 200°C
 Carga: 20% de PAD sin tipo y 80% de PAD 60120 de primera.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Peso 650 g.
 Superficie tersa
 Color amarillo
 Resistencia al impacto 7 kg-cm/cm.

OBSERVACIONES

Las piezas que se obtuvieron presentan el mismo aspecto que las de fabricación normal y se probaron en las mismas condiciones, encontrándose satisfactorias.

CASO No. 13

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Alta Densidad 60L20 Húmedo

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto húmedo
MFI 12 g/10 min.
Densidad 0.960 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Palangana grande

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Peso 573 g.
Color rojo
Resistencia al impacto 7 kg-cm/cm.

EQUIPO DE PROCESO

Inyector EPCO
Capacidad de cierre 480 ton.
Capacidad de inyección 2.268 kg/hr

CONDICIONES DE PRUEBA

Ciclo 36 seg.
Núm. de cavidades una
Zonas de calentamiento 163,179,182,186,
161°C

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Peso 573 g.
Color rojo
Resistencia al impacto 7 kg-cm/cm.

OBSERVACIONES

Se efectuó un acondicionamiento satisfactorio del material, es decir que se secó y tamizó previamente a la carga, agregando los pigmentos y aditivos en las cantidades usuales. Las pruebas de calidad -- que en forma empírica se realizan en esta fábrica, fueron cubiertas satisfactoriamente por el producto sustituto.

CASO No. 14

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Alta Densidad barredura

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto sucio
MFI 12 g/10 min.
Densidad 0.960 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Canastilla

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Peso 475 g.
Color amarillo
Resistencia al impacto 7 kg-cm/cm.

EQUIPO DE PROCESO

inyector BATTERNFELD
Capacidad de cierre 406 ton.
Capacidad de inyección 1.532 kg
Capacidad de producción 35.6 kg/hr

CONDICIONES DE PRUEBA

Ciclo 48 seg.
Núm. de piezas una
Zonas de calentamiento 210, 210, 210, °C.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Peso 475 g.
Color amarillo
Resistente al impacto 6.8 kg-cm/cm

OBSERVACIONES

El material prácticamente correspondía en su totalidad a un PAD 60120, por lo que, una vez acondicionado para eliminarle al máximo las basuras, se procesó sin problemas y las canastillas obtenidas resultaron con similares características a las de fabricación normal.

CASO No. 15

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Alta Densidad Segundas por color

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto ligeramente amarillo
 IFI 1.0 g/10 min.
 Densidad 0.955 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Bolsa azul

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Dimensiones 50x70 cm.
 Calibre 125
 Color azul
 Resistencia al rasgado 165 g/milésima

EQUIPO DE PROCESO

Extrusor BANDERA
 Diámetro del husillo 60 mm.
 Motor de 30 H.P.
 Capacidad de producción 22.0 kg/hr

CONDICIONES DE PRUEBA

Dado 20 cm.
 Zonas de calentamiento 150,180,180,210,
 210°C
 Carga: el 20% de PAD segundas por color
 y 80% de PAD 55010 de primera.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Dimensiones 50x70 cm.
 Calibre 125
 Color azul
 Resistencia al rasgado 164 g/milésima.

OBSERVACIONES

Se utilizó 20% de segundas por color y 80% de material virgen; en esta proporción el ajuste por color no fue necesario.
 La bolsa obtenida apenas muestra una ligera disminución en su resistencia al rasgado.

CASO No. 16

MATERIAL DE PRUEBA

Reciclado Sobrantes Alta Densidad

CARACTERISTICAS DEL MATERIALAspecto
LFI 0.3 g/10 min.
Densidad 0.950 g/cm³PRODUCTO FABRICADO

Botella mediana

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTOPeso 38 g.
Color verde claro
Resistencia al impacto 20 kg-cm/cmEQUIPO DE PROCESOMoldeador por soplado FISHER
Diámetro del husillo 35 mm.
Motor 7.5 H.P.
Capacidad de producción 9.5 kg/hrCONDICIONES DE PRUEBANúm. de cavidades una
Zonas de calentamiento 155, 160, 180, 180°C
Ciclo 9.12 seg.
Carga: 5% de PAD reciclado y 95% de PAD-50003 de primeraCARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADOPeso 38 g.
Color verde claro
Resistencia al impacto 20 kg-cm/cmOBSERVACIONES

En esta prueba no fue necesario realizar ningún ajuste por color sino solamente - agregar aditivo antioxidante. El producto obtenido no muestra alteración con respecto al de primera pero se desconocen los efectos a largo plazo, una vez - en uso.

CASO No. 17

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Alta Densidad Segundas

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto limpio
 MFI 0.3 g/10 min.
 Densidad 0.950 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Envase para solución limpiadora

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Peso 38 g.
 Color amarillo claro
 Resistencia al impacto 20 kg-cm/cm.

EQUIPO DE PROCESO

Moldeador por soplado FISHER
 Diámetro del husillo 35 mm.
 Motor 5.5 H.P.
 Capacidad de producción 9.5 kg/hr

CONDICIONES DE PRUEBA

Ciclo: 14.4 seg.
 Núm. de cavidades: una
 Zonas de calentamiento 155, 160, 180, 180°C

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Peso 38 g.
 Color amarillo claro
 Resistencia al impacto 18 kg-cm/cm

OBSERVACIONES

La resistencia al impacto resulta más baja. Para igualar el valor normal se requiere mezclar este material con un 25% de resina virgen, lo que encarece el envase final. Como se trata de un producto barato, competitivo, de fácil salida y uso rápido, se optó por emplear los recipientes elaborados con el polietileno de segunda, aun cuando son menos resistentes.

CASO No. 18

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Alta Densidad 60003 Segúndas por color

CARACTERISTICAS DEL MATERIALAspecto coloreado amarillo claro
MFI 0.3 g/10 min.
Densidad 0.960 g/cm³PRODUCTO FABRICADO

Envase (producto de limpieza)

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTOPeso 130 g.
Resistencia al impacto 25 kg-cm/cm
Color verde claroEQUIPO DE PROCESOMoldeado por soplado EEKUM
Diámetro del husillo 80 mm.
Motor 30 H.P.
Capacidad de producción 26 kg/hrCONDICIONES DE PRUEBACiclo 36 seg.
Núm. de cavidades dos
Zonas de calentamiento 175, 160, 150, 165, 140, 155°C
Carga: 10% de PAD 60003 segúndas por color y 90% de PAD 60003 de primera.CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADOPeso 130 g.
Color verde claro
Resistencia al impacto 25 kg-cm/cmOBSERVACIONES

Usando el 10% de segúndas por color y el 90% de material virgen no fué necesario ningun ajuste por color. El envase obtenido presenta buenas características y pasa las pruebas de control que se hacen rutinariamente.

CASO No. 19

MATERIAL DE PRUEBA

Polietileno Baja Densidad sin tipo

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto limpio
 MFI 1.9 g/10 min.
 Densidad 0.919 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Manguera

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Diámetro externo 3.34 cm.
 Diámetro interno 2.66 cm.
 Color amarillo

EQUIPO DE PROCESO

Extrusor marca ARAGON
 Diámetro del tornillo 35 mm.
 Motor de 7.5 H.P.
 Capacidad 15 kg/hr.

CONDICIONES DE PRUEBA

Diámetro del dado 4.3 cm.
 Zonas de calentamiento 130, 135, 140, 150°C
 Carga: 15% de PED sin tipo y 85% de PED 20020-P de primera.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Diámetro externo 3.34 cm.
 Diámetro interno 2.66 cm.
 Color amarillo

OBSERVACIONES

Tanto en el análisis visual como en las pruebas experimentales de resistencia y uso que se verifican como control de calidad en esta fábrica, los resultados fueron aparentemente similares en el producto original y en el procesado con esta mezcla.

CASO No. 20

MATERIAL DE PRUEBA

Poliétileno Baja Densidad 18450-Gris.

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

Aspecto grisáceo
MFI 45.0 g/10 min.
Densidad 0.918 g/cm³

PRODUCTO FABRICADO

Letras A (abecedario).

ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO

Peso 2.0 g.
Color rojo
Superficie tersa

EQUIPO DE PROCESO

Inyectora FAIA
Capacidad de cierre 150 ton.
Capacidad de inyección 100 g.
Capacidad de producción 7.2 kg/hr.

CONDICIONES DE PRUEBA

Ciclo 16 seg.
Número de cavidades 8
Zonas de calentamiento 140, 140, 140°C
Carga: 20% de PED 18450-gris y 80% de PED 18450-G de primera.

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO

Peso 2.0 g.
Color rojo
Superficie tersa

OBSERVACIONES

Las piezas producidas cumplen los requisitos establecidos; fué necesario cambiar mallas con mayor frecuencia.

CASO No. 21

MATERIAL DE PRUEBA	Polietileno Baja Densidad 21200-Húmedo.
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	Aspecto húmedo MFI 20 g/10 min. Densidad 0.921 g/cm ³
PRODUCTO FABRICADO	Tapa de garrafón
ESPECIFICACIONES NORMALES DEL PRODUCTO	Peso 4.0 g. Color azul uniforme Superficie tersa.
EQUIPO DE PROCESO	Inyectora BATTERNFELD Capacidad de cierre 150 ton. Capacidad de inyección 100 g. Capacidad de producción 6.2 kg/hr
CONDICIONES DE PRUEBA	Ciclo 14 seg. Número de cavidades 6 Zonas de calentamiento 130, 140, 140°C. Carga: 20% de PED 21200-húmedo y 80% de PED 21200-I de primera.
CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO ELABORADO	Peso 4.0 g. Color azul uniforme Superficie tersa.
OBSERVACIONES	Las piezas cumplen con los requisitos establecidos. El material húmedo fue previamente acondicionado sin presentar problema al procesarlo.

RESUMEN

POLIETILENO BAJA DENSIDAD.

TIPO DE MATERIAL PX	CASOS No.	ARTICULOS FABRICADOS	NOM. DE PRUEBAS
20020-Segundas por color	1	Bolsa pigmentada	3
20020-G.O.	2	Salpicadera de bicicleta	2
20020-Húmedo	3	Manguera	2
20020-Gris	4	Bolsa negra uso agrícola	5
18450-Gris	20	Letra A (abecedario)	4
21200-húmedo	21	Tapa de garrafón	4
Sin tipo	5	Bolsa tipo camiseta	4
	19	Manguera	3
Barredura	7	Lodera negra	3
	9	Película uso agrícola	3
Contaminación metálica	6	Película (bobina)	5
TOTAL DE PRUEBAS			38

POLIETILENO ALTA DENSIDAD
PADMEX

60120-G.O.	8	Patas de mueble imitación mármol	2
	10	Canastilla para desodorante	2
60120-Gris	11	Cesta cerrada	3
60120-Húmedo	13	Palangana grande	5
60003-Segundas por color	18	Envase para producto de lim- pieza	3
Segundas	17	Envase para solución limpia- dora	5
Segundas por color	15	Bolsa	3

<u>TIPO DE MATERIAL</u>	<u>CASOS</u> <u>No.</u>	<u>ARTICULOS FABRICADOS</u>	<u>NUM. DE</u> <u>PRUEBAS</u>
Sin tipo	12	Esurero	4
Barredura	14	Canastilla	2
Reciclado sobrantes	16	Botella mediana	3
<u>TOTAL DE PRUEBAS</u>			<u>32</u>

8.3. CUANTIFICACION DE CAPACIDADES DE PRODUCCION EN EQUIPOS DE PROCESO DE POLIETILENO.

La demanda de resina para ser utilizada como carga en equipos de procesamiento por extrusión, moldeo o soplado, está condicionada principalmente a la capacidad de dicho equipo en funcionamiento normal es decir, cuando se estabilizan todos los parámetros de la producción y se asegura el óptimo rendimiento de las máquinas.

Las especificaciones señaladas en los equipos por el fabricante, al ser traducidas mediante cálculos a números finales de producción, conducen a datos que representan los niveles máximos de rendimiento, los cuales deben manejarse con cuidado enfocándolos en su debida interpretación, ya que tales cifras se verifican la mayoría de las veces en condiciones ideales de procesamiento, situación que no suele presentarse en la realidad por los muchos factores que inciden en la fabricación.

Dentro de las operaciones comerciales que se involucran en el mercado de resinas, es común que un fabricante de artículos de plástico solicite se le venda polietileno en función de su capacidad de producción, señalando ésta como la que se especifica en los manuales de diseño de su equipo. Para conservar el control de la distribución del polímero en el mercado nacional, el proveedor tiene que atender la demanda en for

ma racional y recibir la información necesaria sobre las condiciones que prevalecen en cada industria usuaria, fundamentalmente en lo relativo a: tipo de polímero empleado, características de la carga, equipo de procesamiento, ciclos de producción, artículos fabricados, especificaciones del producto final, variables del proceso.

El análisis de estos renglones permitirá determinar una capacidad de producción real y en función de ella fijar la cantidad de resina que debe abastecerse.

El empleo de material de segunda como carga en las máquinas productoras, ya sea en forma total o en mezclas con resina virgen, puede alterar el ritmo de fabricación y consecuentemente la capacidad de producción. Como parte complementaria del aspecto experimental de esta tesis, se presentan los cálculos correspondientes a las capacidades de producción de tres equipos de procesamiento de polietileno, uno de cada tipo, los cuales fueron estudiados al atender la solicitud de sus propietarios para proveerlos de materiales de segunda apropiados que pudieran funcionar con éxito en la fabricación de sus artículos sin mermar significativamente ni la calidad de estos ni la capacidad de su producción.

Se analiza en forma general el esquema de variables que afectan el desempeño del equipo en cada caso y luego se parti

culariza con los datos específicos, consignándose los prome--
dios resultantes de cuando menos tres mediciones o pruebas.

8.3.1. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCION EN UN EQUIPO DE EXTRUSION DE PELICULA USANDO COMO MATERIA PRIMA POLIETILENO-DE ALTA DENSIDAD.

En los extrusores hay que tomar en cuenta los siguientes puntos: potencia del motor, diámetro del husillo, relación L/D, revoluciones por minuto a las que se trabaje, el dado usado, la altura de la torre de jalado y la presión de jalado; todo esto determina las dimensiones y el calibre de la bobina producida; sin embargo, cada extrusor tiene un ritmo de trabajo que se considera bueno cuando el globo se forma correctamente sin romperse, la relación de jalado es la adecuada y la producción es satisfactoria. En estas condiciones y teniendo colocado el mayor dado en el extrusor en cuestión, se procede a cuantificar la capacidad de producción de película. La manera más sencilla de realizar la medición es pesar el centro de la bobina (normalmente de cartón) y colocarlo listo para recibir la película producida, tomando el tiempo que transcurre desde el momento en que comienza a enrollarse la película hasta que ha pasado una o media hora, según se haya fijado por las condiciones de la prueba. Al cumplirse el tiempo establecido se corta la película quedando formada una bobina, luego se procede a pesarla descontando el peso del centro.

Datos

Equipo

Extrusor marca	EANDERA
Motor	30 H.P.
Diámetro del husillo	60 mm
Relación L/D	24: 1
Altura de la torre de jalado	3 m
Dado empleado	20 cm
Capacidad de producción especificada:	45 kg/hr

Condiciones de la prueba.

Peso del centro de la bobina	1.738 kg
Tiempo establecido	30 minutos
Peso de la bobina después del enrollado	19,738 kg
Material usado	PAD 55010

Producto terminado

Clase	bolsa tipo camiseta
Ancho de la película	70 cm
Calibre de la película	125
Color	blanco
Dimensiones	70x50 cm

Producción

Turnos diarios	3
Días de trabajo al mes	25

Cálculos

Capacidad de producción en kg/hr

$$19.738 \text{ kg} - 1.738 \text{ kg} = 18 \text{ kg}$$

$$\frac{18 \text{ kg}}{30 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 36 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Capacidad de producción en kg/día

$$3 \text{ turnos de } 8 \text{ hr cada uno} = 24 \text{ hr/día}$$

$$36 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times \frac{24 \text{ hr}}{\text{día}} = 864 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Capacidad de producción en ton/mes.

$$\frac{864 \text{ kg}}{\text{día}} \times \frac{25 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 21.6 \frac{\text{ton}}{\text{mes}}$$

Relación de las capacidades de producción

$$\frac{\text{Capacidad calculada}}{\text{Capacidad especificada}} \times 100 = \text{Rendimiento real de producción}$$

$$\frac{36 \text{ kg/hr}}{45 \text{ kg/hr}} \times 100 = 80$$

3.2. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCION EN UN EQUIPO DE MOLDEO POR SOPLADO CON POLIETILENO ALTA DENSIDAD COMO MATERIA PRIMA.

En este equipo deben observarse varios aspectos que regulan la producción, como son el tipo del molde empleado y sus características, la presión de cierre, la presión del aire inyectado, el ciclo transcurrido desde la inyección -- hasta la apertura del molde, o sea el ciclo de soplado de la pieza.

Al extruir el polietileno se forma un tubo que se denomina parison, el cual se introduce al molde, donde recibe aire a presión que lo infla y obliga a llenar la cavidad -- del molde.

Al abrirse éste, se expulsa automáticamente la pieza y se verifica en forma rápida su calibre y dimensiones para comprobar que las condiciones de fabricación son satisfactorias.

Datos

Equipo

Moldeadora por soplado marca	FISHER
Diámetro del husillo	35 mm
Motor	7.5 H.P.
L/D	20: 1
Capacidad de producción especificada	12 kg/hr

Condiciones de la prueba

Ciclo de soplado	18 seg.
Peso de la pieza producida por ciclo	53 g.
Número de cavidades	una
Zonas de calentamiento	155, 160, 180, 180°C.
Material usado	PAD 50003

Producto terminado

Clase	envase grande
Capacidad	900 cc

Producción

Turnos diarios	3
Días de trabajo al mes	25

Cálculos

Capacidad de producción en kg/hr

$$\frac{53 \text{ g}}{18 \text{ seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 10.6 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Capacidad de producción en kg/día

$$10.6 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 24 \frac{\text{hr}}{\text{día}} = 254.4 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Capacidad de producción en ton/mes

$$254.4 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 25 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 6.360 \frac{\text{ton}}{\text{mes}}$$

Relación de las capacidades de producción

$$\frac{\text{Capacidad calculada}}{\text{Capacidad especificada}} \times 100 = \text{Rendimiento real de producción}$$

$$\frac{10.6 \text{ kg/hr}}{12.0 \text{ kg/hr}} \times 100 = 88.3$$

8.3.3. DETERMINAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCION EN UN EQUIPO DE MOLDEO POR INYECCION USANDO POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD COMO MATERIA PRIMA.

En la operación de este equipo se distinguen tres etapas: alimentación de la resina, plastificación y dosificación del molde.

El ciclo se inicia cuando se cierra el molde y el pistón empuja la resina y termina cuando se abre y se expulsa la pieza, pero el tiempo del ciclo se cuantifica más fácilmente entre dos aperturas del molde, que transcurre de acuerdo a esta secuencia: apertura, inyección de la pieza en forma manual o automática, regreso del pistón, cierre del molde, inyección de la resina, apertura.

Deben registrarse las variables en la operación, como son los tiempos, presiones y temperaturas. El peso de la pieza eyectada es la base de cálculo para determinar capacidades reales de producción.

Datos

Equipo

Inyectora marca	BATTERNFELD
Capacidad de cierre	150 ton.
Capacidad de inyección	100 g.
Capacidad de producción (especificada)	6 kg/hr

Condiciones de prueba

Ciclo de producción	59.8 seg.
Peso de la pieza producida por ciclo	93 g.
Presión de cierre	150 ton.
Temperatura	150, 150, 150°C.
Material usado	PBD 20020-x
Núm. de cavidades	una

Producto terminado

Clase	guarda fango
Color	negro

Producción

Turnos diarios	3
Días de trabajo al mes	25

Cálculos

Capacidad de producción en kg/hr

$$\frac{93 \text{ g}}{59.8 \text{ seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 5.5987 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Capacidad de producción en kg/día

$$5.5987 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 24 \frac{\text{hr}}{\text{día}} = 134.3688 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Capacidad de producción en ton/mes

$$134.3688 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 25 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 3.359 \frac{\text{ton}}{\text{mes}}$$

Relación de las capacidades de producción

$$\frac{\text{Capacidad calculada}}{\text{Capacidad especificada}} \times 100 = \text{Rendimiento real de producción}$$

$$\frac{5.5987 \text{ kg/hr}}{6.0 \text{ kg/hr}} \times 100 = 93.31$$

8.4. RECOMENDACIONES SOBRE EL USO FINAL DE LOS MATERIALES RESIDUALES.

La naturaleza no termofija del polietileno permite su utilización en procesos de reciclaje, por lo que los materiales residuales presentan indiscutibles ventajas económicas y hacen atractivo su empleo en la fabricación de artículos que no requieren estrictas especificaciones de calidad o bien en productos de uso secundario que deben de cumplir una función utilitaria primaria sin el requisito de un alto control de calidad.

La experiencia derivada de múltiples pruebas a escala industrial y de la asistencia técnica proporcionada a usuarios de las resinas, puede orientarse hacia una generalización en las recomendaciones sobre el empleo de los materiales polietilénicos de segundas y desperdicios, por similitud de casos bien conocidos o por extrapolación de los conocimientos adquiridos en corridas específicas.

Como corolario de la parte experimental de este trabajo, se comentan enseguida algunas de las muchas aplicaciones que tienen en la industria los materiales residuales de polietileno, conforme a su clasificación.

8.4.1. Segundas.

Las segundas de polietileno pueden utilizarse en la elaboración de película, artículos moldeados y soplados. Siempre es conveniente experimentar con una muestra representativa del material y si el artículo fabricado --

tiene variación importante en alguna propiedad esencial para lo cual está diseñado, se decidirá su utilización. Por ejemplo, si la resistencia al impacto es importante y esta propiedad es afectada en gran medida con el empleo de un material residual de segunda, habrá que rechazarlo totalmente o dosificarlo en bajas proporciones con productos de primera hasta lograr los valores de resistencia que permitan comercializar sin problemas el artículo final.

8.4.2. Segundas por color.

Se utilizan en la fabricación de película, objetos moldeados y soplados, pero con la recomendación de que sean pigmentados. Con estos materiales, lo que se puede afectar es el aspecto final del artículo, por lo demás persisten dentro de normas las otras propiedades. La presentación final puede corregirse utilizando el polietileno de segundas en un porcentaje digamos de un 10 a un 20% mezclado y homogeneizado con material no residual cuando el artículo a fabricar debe presentarse coloreado; se impone realizar pruebas hasta tener la proporción adecuada que permita la máxima utilización de las segundas.

8.4.3. Gris.

Aquí la utilización es en todo tipo de artículos moldeados y soplados así como película y tubería, ya que el polietileno gris tiene solo la limitante de su color y algún problema en el proceso que se resuelve con la adición a la máquina de un número mayor de mallas para eliminar las partículas de polvo ocluidas que dan ese aspecto gris al material, teniendo el cuidado de cambiarlas con frecuencia. Altos porcentajes de materiales grises en la alimentación de la máquina, afectan la velocidad de producción.

8.4.4.G.O. (Gránulos Oxidados).

Los polietilenos que presentan esta particularidad dan productos con todas las características esperadas en su tipo, solo que la mayor presencia de los gránulos oxidados confieren un aspecto final de falta de color en pequeñas zonas, por lo que su utilización no es recomendada en artículos donde el aspecto uniforme sea esencial.

8.4.5.Sin tipo.

Es práctica común mezclar un porcentaje de un 10 a un 20% con material no residual y de preferencia utilizarlo en artículos que son de color. Conviene también adicionar mallas a la máquina para evitar en lo posible el pase de los gránulos oxidados.

8.4.6. Contaminación metálica.

También es adecuado para utilizarse en todos los artículos moldeados y soplados; sin embargo se presenta dificultad en su procesamiento, debido a las pequeñas partículas metálicas, por lo que se recomienda el empleo de mallas.

8.4.7. Barredura.

Se maneja como un material sin tipo que a su vez es una mezcla de varios tipos de polietilenos con la agravante de estar sucio con polvo y residuos que se ha recogido del piso, por lo que primeramente se debe limpiar y lavar, procurando en lo posible seleccionarlo. Sus posibilidades de empleo son múltiples ya sea mezclándolo en las proporciones adecuadas con materiales de primera o bien en procesamiento directo para fabricar artículos baratos que no deban reunir exigentes requisitos de calidad.

8.4.8. Húmedo.

El polietileno que se encuentra en este caso tiene todas sus propiedades intactas así como un tipo determinado; sin embargo, representa un problema su procesamiento debido a que se evapora en el interior de las máquinas, quedando en el producto final burbujas nada deseables.

Un buen secado del material lo pone en condiciones de utilizarlo como polietileno de primera.

En general, para utilizar los sobrantes de productos -- terminados es necesario preparar trozos manejables para la máquina así como también acondicionarlos con la adición de antioxidantes y otros aditivos mezclados en un porcentaje no mayor del 20% con material no residual y realizar el ajuste por color.

En una fábrica procesadora de polietileno, donde se busca reciclar los residuos generados en la producción normal, suele disponerse de instalaciones laterales destinadas a acondicionar estos materiales para su conveniente utilización. Se encuentran comúnmente equipos para secado, seleccionadores de tamaño de gránulos, separadores, mezcladores, cortadores, horno de fundido, etc. -- Puesto que el empleo de desperdicios representa una sensible reducción en el costo de manufactura, se tiene especial cuidado en estas operaciones para obtener el máximo rendimiento.

Se ha mencionado como una de las etapas importantes en este proceso la adición de ciertos productos para ajustar las características finales del polietileno procesado. Los aditivos constituyen muchas veces un factor de-

terminante en la presentación de los artículos y en su comportamiento: la selección de ellos y su dosificación adecuada permiten por tanto la aproximación hacia las propiedades que normalmente tiene la resina virgen y conserva en su valor los aspectos básicos del producto terminado para satisfacer sus exigencias de empleo. Dependiendo de este uso final, se recurre a la adición en muy pequeñas cantidades de productos comerciales que actúan como antioxidantes, plastificantes, absorbedores de luz ultravioleta, endurecedores, deslizantes, antibloqueadores, etc.

Muchas industrias destinan parte de las actividades de su personal, de sus espacios físicos y de sus instalaciones a la recuperación, acondicionamiento y empleo de los materiales residuales que generan durante su proceso o de los que adquieren de otras industrias o del fabricante de la materia prima. Solo por citar algunos, de entre los registros de compradores de segundas y desperdicios, están los que fabrican películas tubulares, envases, tubería, perfiles plásticos, tacones, artículos decorativos, juguetes, cubetas, bolsas, cintas plásticas, revestimientos para canales techados para invernaderos, empaques para productos agrícolas, láminas, moldes, tapo

nes, peines, cordeles, concentrados (master batch) partes para encendedores y bolígrafos, etc.

En todos los casos de procesamiento de resinas que no son de primera calidad, los fabricantes tienen que buscar las condiciones adecuadas para la operación más eficiente y rentable, experimentado con las diferentes variables en el manejo del equipo: temperaturas del extrusor y del molde, presión de inyección, tamaño del dado, velocidad del husillo, velocidad de estirado de película, altura del parison, tiempo de enfriamiento, etc., a fin de hacer los ajustes finales y asegurar la homogeneidad de los artículos terminados. Se conocen varios intentos de recuperación e industrialización de los desechos plásticos en los basureros, tanto por el sector público como por la iniciativa privada. Los resultados no han sido del todo satisfactorios principalmente por dificultades de tipo laboral y de optimización de costos. El procesamiento de estos materiales implica varias operaciones de acondicionamiento, lo cual ha desembocado en la obtención de productos recuperados de alto costo que difícilmente compiten con los materiales de segunda que se ofrecen limpios, en costalados y clasificados para su transformación inmediata; sin embargo, es

de esperarse que en el futuro se logre la recuperación de este material, antes de que llegue a acumularse en cantidades peligrosas y en lugares donde resultaría muy difícil su separación; esto significa la reducción de posibilidades de contaminación y una contribución a minimizar los problemas ecológicos.

Las modificaciones que sufren los materiales polietilénicos durante su reciclado o reproceso, han sido estudiados detenidamente por muchos investigadores y son varios los libros y artículos que se han publicado al respecto.

No entra dentro de los propósitos de esta Tesis abordar el tratamiento de dicho aspecto que tal vez pudiera considerarse como tema para otro documento de recepción profesional dado su interés y su carácter de complementación a la etapa experimental que aquí reseñamos en lo que concierne al empleo de las resinas de segunda y desperdicio.

Entre los problemas que se han encontrado debido a la calidad inferior de los materiales de segunda se reconocen dos causas fundamentales. La primera es la incompatibilidad de la mayoría de los polímeros termoplásticos comunes que da como resultado una inferioridad mecáni-

ca. La segunda, menos obvia, se refiere a los cambios químicos en el polímero que afectan su comportamiento a corto y a largo plazo.

El primer problema se puede minimizar o evitar seleccionando las segundas, desperdicios o barreduras para que sean del mismo tipo genérico, pero no se elimina el segundo problema que se ve exacerbado por las impurezas que el polímero recoge en su uso primario. La magnitud de los cambios químicos durante el reproceso y el servicio subsecuente dependen marcadamente de la reactividad química y particularmente de la estabilidad oxidativa del polímero; esta última depende a su vez de la presencia de antioxidantes y estabilizadores que se agregan o permanecen después del primer proceso. (1,6,7,8,9,10,--11,12,13,18)

CAPITULO 9

CONCLUSIONES.

En el mercado nacional existe una significativa disponibilidad de materiales residuales de polietileno, de variados tipos y calidades, susceptibles de utilizarse por la industria de plásticos. Estos productos proceden de la fabricación de la resina virgen, de su almacenamiento y transporte así como de las plantas - procesadoras de polietileno.

La presentación de los residuos y desperdicios de polietileno cubre una gama más amplia, desde los gránulos que salvo alguna especificación en que fallan pueden considerarse de primera - calidad, hasta lo que pudiera calificarse como verdadera chatarra. Sin embargo, cualquiera que sea el aspecto, grado o calidad, estos materiales pueden reincorporarse a los ciclos de producción normal, previo estudio de su comportamiento, dosificación y uso final.

El empleo cada vez más amplio y diversificado de las "segundas" de polietileno ha permitido abaratar los costos de fabricación de muchos artículos de uso común y elevar los índices de producción en las instalaciones industriales de transformación, al ocupar por más tiempo equipos que de otra manera permanecerían ociosos por escasez de materia prima. Es una situación bien conocida la que enfrenta actualmente la industria en general ante las dificultades por obtener parte de sus insumos provenientes de importación, debido al elevado costo de éstos y a la insu-

ficiencia de divisas para adquirirlos. En el caso del polietileno, se sabe que la producción nacional apenas alcanza a satisfacer el 50% de la demanda interna, por lo que se ha hecho necesario recurrir a la compra en el exterior de grandes cantidades de resina con objeto de complementar hasta donde es posible los requerimientos del mercado.

La crisis económica vigente hace cada día más onerosas las importaciones, por lo que sus restricciones y substitutiones se vuelven imperiosas. Al no haber incrementos a la producción nacional de materia prima, queda como la alternativa más viable el reciclaje de materiales y su máximo aprovechamiento. La amplitud de tipos que pueden ofrecerse comercialmente como polietileno de segunda permite la utilización de estos materiales por cualquiera de las técnicas conocidas de procesamiento (inyección, soplado, moldeo) para la fabricación de artículos que no requieren de estrictas exigencias de calidad. Ya sea directamente o bien mezclada con resina virgen, estudiados los ajustes de condiciones de proceso, se pueden extruir para formar películas, envases, artículos domésticos, tuberías, juguetes, etc.

Al recurrir al reciclaje de materiales de desperdicio en la industria, el empleo dosificado de todos los grados de segunda que se generan durante la fabricación de los polímeros y al aprovechamiento de barreduras y chatarra de plástico, se contribuye-

a mejorar la economía del país puesto que se reducen las importaciones. En cierto aspecto también se disminuyen los problemas -- ecológicos derivados de la acumulación de desperdicios de plásticos.

La acumulación de materiales de desperdicios en patios exteriores, sometidos a los efectos de la intemperie, provoca su paulatina degradación con la consiguiente merma en su valor comercial. Por otra parte es muy importante considerar que estos productos al estar en tiraderos sin ningún control, pueden ocasionar verdaderos problemas de contaminación, cuando son arrastrados por el viento o las lluvias hacia las atarjeas, canales, fosas, etc.

El polietileno es un material no biodegradable, por lo que es prácticamente imposible eliminarlo por absorción al ser arrojado en terrenos baldíos o en áreas destinadas especialmente a depósitos de basuras y desechos.

Por ello cobra especial interés su recuperación y la optimización de su empleo en la fabricación de variados artículos para satisfacer necesidades en sectores como el doméstico, comercial, industrial, agrícola y de construcción.

HELIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- A.-A. Albertsson.- European Polymer Journal, Vol. 16 p.p. 623 a 630 (1981).
- 2.- A. Renfrew & P. Morgan.- Polythene 2^o Edition.- Interscience Publishers INC. N.Y. 1960.
- 3.- "Alkathene" Test Method.- ICI Standard Method.- No. 59, 79, 65, 67,. 1964
- 4.- American Society for testing and Materials.- Manual - ASTM 1965.- Vol. 27.
- 5.- Asociación Nacional de la Industria Química A.C.- Anuario de la Industria Química Mexicana en 1982 1983 p.p. 231-233, 237-243.
- 6.- B. Sedlasek.- Degradation and. Stabilization of Polyolefins.- Symposium (IUPAC) 1976.
- 7.- C. Sadrmoaghegh and G. Scott.- The Effects of Reprocessing on Polymers-1.- European Polymer Journal, Vol. 16 p.p. 1037 a 1042.- (1980).
- 8.- C. Sadrmoaghegh, G. Scott and E. Setoudeh.- European Polymer Journal, Vol. 18 p.p. 1007 a 1010.- (1982).

- 9.- E.K. Piroja.- ¹H.V. Lippmaa.- ¹O.F. Metlitskaya¹ and.-
A. Dankovics².- European Polymey Journal, Vol. 16 p.-
p. 641 a 645.- (1980).
- 10.- Fred W. Billmeyer Jr.- Textbook of Polymer Science 2^o
Ed.- John Wiley & Sons INC.- 1971.
- 11.- G. Akay, T. Tincer and H.E. Ergöz.- European Polymer-
Journal, Vol. 16 p.p. 601 to 605.- 1980.
- 12.- G.R. Rrdeal and J.C. Padget.- J. Polymer SCI.: Sympo-
sium No. 57, 1-15 (1976).
- 13.- G. Scott and E. Setoudeh.- European Polymer Journal,-
Vol. 18 p.p. 901 a 902.- (1982).
- 14.- Hernan V. Boenig.- Polyolefins.- Elsevier Publishing-
Company.- 1966.
- 15.- Jenkins A.D. .- Progress in Polymer Science.- Perga--
mon Press.- Vol. 1 y 2.- 1972.
- 16.- Kresser Theodore O.J.- Polyolefin Plastics.- Van Nos-
trand Reinhold.- p.p. 2-20, 65-75.- 1969.
- 17.- Milby Robert V. - Plastics Technology.- Ed. Mc. Graw-
Hill.- 1973.

- 18.- M. Mlinac.- J. Rolich, and M. Bravar.- J. Polymer SCI.:
Symposium No. 57, 161-169.- (1976).
- 19.- PEMEX.- Manual de Polietileno Baja Densidad.- México, -
1979.
- 20.- PEMEX.- Polietileno, Propiedades y Aplicaciones.- 1983.
- 21.- Robert W. Jones and F.T. Chandy.- Riegel's Handbook of-
Industrial Chemistry,- Ed. J.A. Kent- New York.- Rein--
hold.- 1961.- p.p. 284-290.
- 22.- Raff R.A.V. and J.B. Allison.- Polyethylene, vol. XI.--
High Polymer Series.- Interscience Publishers INC. N.Y.
1982.
- 23.- R. S. Joyner.- Modern Plastics Encyclopedia (1971-1972)
Mc. Graw Hill inc.- P.P. 72, 77, 80.
- 24.- Williams D.J.- Polymer Science Engineering.- 1971.
- 25.- Young John.- El Cambiante Mercado de Materias Primas.-
Plastinoticias.- México febrero 1982.