



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

USO DE POLÍMEROS EN LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS PLÁSTICOS

María del Carmen Gómez Domínguez
Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, febrero de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**USO DE POLÍMEROS EN LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS
PLÁSTICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

MARÍA DEL CARMEN GÓMEZ DOMÍNGUEZ
ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO
ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA MECÁNICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Luís Alfredo Asturias Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Jorge Chilo Siguere Stroh
SECRETARIA	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

USO DE POLÍMEROS EN LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS PLÁSTICOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica, con fecha septiembre de 2006

María del Carmen Gómez Domínguez

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por permitirme alcanzar mi sueño, llegando hoy a la meta que un día me trazara.

Mi madre

María Elena Domínguez Medina, por sembrar en mí, el deseo de superación, instruyendo el valor de la perseverancia, brindándome su apoyo incondicional y bendiciendo mi vida con su amor.

Mi padre

Defino Gómez Tucubal (Q.E.P.D), por los fuertes cimientos que en mi forjó, y que son la base principal de mi éxito.

Mi tío

Juan Gómez Tucubal, por ser parte de mi formación profesional.

Mis hermanos

Delfino, Luis, Ligia, Marleny, Javier, gracias por compartir conmigo este éxito, y por la ayuda brindada para lograr alcanzarlo.

Mis sobrinos

Por que con su cariño y sonrisas, me acompañaron e hicieron de este trayecto una vereda de inspiración y motivación.

Mis amigos

Heydree, Edgar, Javier, Patty, Arturo, Glender. Gracias por los momentos compartidos, por dedicarme parte de su tiempo, pero principalmente por su amistad sincera y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A

Ing Edwin Estuardo Sarceño Zepeda, por el asesoramiento en la realización de este trabajo de graduación.

Ing. Juan Carlos Schildkneth y Rodolfo Schildkneth, por la oportunidad que me brindaran al permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado, en las instalaciones de su empresa TECNOPACK, S.A.

Ing. Juan Francisco Alonzo, por el apoyo brindado durante la realización de mi EPS.

Bib. Astrid Xiomara Contreras y el Sr. Luis Alfonso Chacón, por su amistad y apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1 Descripción general de la empresa.....	1
1.2 Conceptos generales de materiales termoplásticos utilizados en TECNOPACK, S.A. para la fabricación de productos plásticos...	3
1.2.1 Polímeros Termoplásticos.....	3
1.2.1.1 Polipropileno.....	3
1.2.1.2 Polipropileno homopolímero.....	5
1.2.1.3 Polipropileno Copolímero.....	5
1.2.2 Polietileno.....	6
1.2.2.1 Polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE).....	7
1.2.2.2 Polietileno de Alta densidad (PEAD o HDPE).....	8
1.3 Propiedades.....	9
1.3.1 Propiedades del polipropileno.....	9
1.3.1.1. Dispersión de pesos moleculares.....	10
1.3.1.2 Viscosidad, propiedades reológicas.....	10
1.3.1.3 Cristalinidad, propiedades mecánicas.....	11
1.3.1.4 Compuestos y mezclas.....	11

1.3.2 Propiedades del polietileno.....	12
1.3.2.1 Propiedades físicas y mecánicas.....	13
1.3.2.2 Propiedades moleculares básicas.....	19
1.3.2.3 Oxidación del polietileno.....	22
1.4 Aplicaciones.....	23
1.4.1 Polipropileno.....	23
1.4.1.1 Moldeo por inyección.....	24
1.4.1.2 Coloración del material.....	37
1.4.2 Polietileno.....	45
1.5 Diagnóstico.....	45
1.5.1 Productos de polipropileno.....	45
1.5.1.1 Características del molido para reprocessar.....	46
1.5.1.2 Fluidez del material reciclado.....	47
1.5.2 Productos de polietileno.....	48
1.5.2.1 Material reciclado sin aplicación.....	48
1.5.2.2 Fluidez del material reciclado.....	49
2. ANÁLISIS DE MATERIALES	
2.1 Análisis de polietilenos.....	51
2.1.1 Velocidad de inyección.....	51
2.1.2 Estudio de productos alternativos para aplicación de reciclado.....	52
2.2 Análisis de polipropileno.....	54
2.2.1 Velocidad de inyección.....	54
2.2.2 Características optimas del material reciclado.....	54
2.3 Selección de materiales y características de operación.....	58
2.3.1 Productos alternativos.....	64
2.3.2 Velocidades óptimas de inyección.....	65
2.3.3 Tolerancias en características del grano.....	67
2.4 Instrumentación.....	67

2.4.1 Instrumentos de medición.....	67
2.4.2 Panel de control.....	68
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	75
APÉNDICE.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Unidad de inyección.....	26
2. Molde prefabricación para diseñar la cavidad.....	29
3. Control de parámetros.....	30
4. Líneas genéricas isobáricas de polímeros amorfos Semicristalinos en inyección.....	31
5. Contracción al enfriarse las partes inyectadas.....	31
6. Molde para fabricar un clip para papel.....	32
7. Dimensiones del cañón.....	40
8. Flujo y diseño de flujo.....	41
9. El contenido de humedad afecta la viscosidad del fundido...	56
10. Efecto del molido al 25% en la resistencia a la tracción.....	57
11. Efecto del molido al 25% en la resistencia a la tracción_2.....	57
12. Efecto del molido al 25% en la resistencia al impacto.....	58

TABLAS

I. Propiedades físicas y mecánicas.....	13
II. Propiedades mecánicas en relación al peso molecular.....	15
III. Propiedades de los LDPE y HDPE.....	17

IV. Efecto producido por las tres propiedades moleculares básicas..	19
V. Valores de contracción en polímeros para inyección.....	36
VI. Material utilizado en la fabricación de algunos productos.....	63
VII. Rangos específicos de algunos parámetros de operación.....	66
VIII. Codificación de plásticos.....	85

LISTA DE SÍMBOLOS

F	Fuerza (N)
Pm	Presión media (Pa)
Ap	Área proyectada (m ²)
Cp [cal/g °C]	capacidad calorífica
α	Coefficiente de expansión térmica
β	Compresibilidad isotérmica
Lc	Longitud de la cavidad
Lmp	Longitud de la parte moldeada
Cv	Contracción volumétrica
C_L	Contracción lineal
Vc	Volumen de la cavidad
Vmp	Volumen de la parte moldeada
K	Constante del polímero en cuestión
R	Constante universal de los gases ideales, Por lo general expresada en Joules, kelvin y moles $8.314\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
T	Temperatura
E	Energía de activación para el flujo viscoso
CNC	Control numérico computarizado

GLOSARIO

Anisotrópico	Presenta propiedades distintas para cada dirección. Tiene propiedades direccionales.
Atáctico	Los grupos de metilos están distribuidos al azar a ambos lados de la cadena molecular. No tiene ningún tipo de cristalinidad.
Disolvente	Componente que disuelve, teniendo la propiedad de disolver ciertas sustancias. Puede ser un gas, un líquido o un sólido.
Dispersión	Fenómeno de separación de distintas frecuencias al atravesar un material.
Extrusión	Es el proceso que inicia con una materia prima de plástico que se funde y mezcla mediante un tornillo sin fin giratorio y se impulsa a alta presión a través de una matriz metálica, o dado, el cual le conferirá una forma útil, para finalmente recibir un enfriamiento que provocará su solidificación y proporcionará estabilidad a la figura obtenida.

Fuerza de cierre	Fuerza ejercida sobre el molde antes de inyectar. Es producida por la unidad de cierre después de la formación de la presión.
Hidrocarburos alifáticos	Presentan enlaces dobles o triples entre carbonos en su molécula.
Homopolímero	Son los polímeros que contienen una sola unidad estructural. Contienen cantidades menores de irregularidades en los extremos de la cadena o en ramificaciones.
Inyección	Consiste en la fusión del material, junto con colorantes o aditivos, para luego forzarlo bajo presión dentro de un molde.
Polímero	Son macromoléculas, generalmente orgánica, formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.
Presión de	Fuerza de empuje ascendente que produce un efecto adicional sobre el sistema de cierre junto con la fuerza de cierre
Isotáctico	Todos los grupos fenilo se encuentran del mismo lado de la cadena.

Isotrópico	Tiene propiedades que son idénticas en todas direcciones.
Metilo	Derivado del metano por pérdida de un átomo de hidrógeno y que es un componente del alcohol metílico
Pirolisis	Descomposición química de materia orgánica causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno u otros reactivos, excepto posiblemente el vapor de agua.
Plastificante	Moléculas orgánicas que se agregan a un polímero para reducir las interacciones intermoleculares entre las cadenas de polímero. El efecto del plastificante es hacer que el material sea más maleable.
Polietileno	Termoplástico semicristalino. Se destaca en general por una buena resistencia química, alta tenacidad y elongación en la rotura
Polietileno de alta densidad (HDPE)	Estructura de cadena recta. Posee un rango de densidad de $0.941 - 0.965 \text{ g/cm}^3$, y un alto grado de cristalinidad,
Polietileno de baja densidad (LDPE)	Estructura de cadena ramificada. Posee un rango de densidad de $0.910 - 0.925 \text{ g/cm}^3$.

Poliiolefinas	Es todo aquel polímero obtenido mediante la polimerización de olefinas
Sindiotáctico	Poseen también un orden constante en los substituyentes, sin embargo, estos se encuentran enlazados de forma alternante en el carbono quiral de la cadena principal del polímero.
Solubilidad	Es una medida de capacidad de una determinada sustancia de disolverse en un líquido.
Velocidad de apertura de molde	Distancia que recorre la platina móvil del molde hasta separarse de la platina fija y dejar espacio suficiente para la expulsión de las piezas en un tiempo determinado.
Velocidad de cierre de molde	Es la distancia que recorre la platina móvil hasta hacer contacto con la fija del molde, en un tiempo determinado.
Velocidad de plastificación	Se controla por las revoluciones por minuto o giros del husillo o tronillo en el momento de la plastificación.

RESUMEN

La manufactura del plástico actualmente ha incrementado considerablemente, porque su manejabilidad es fácil. Este permite crear distintas formas útiles en las diversas áreas industriales como por ejemplo: la industria alimenticia, automotriz, la construcción, etc.

Es importante analizar los sistemas de transformación de polímeros termoplásticos y sus mezclas, diferenciando las diversas técnicas de transformación, tomando en cuenta los parámetros básicos de los materiales con las variables del proceso y las propiedades del producto final.

Uno de los métodos más utilizados en la producción de productos plásticos es el proceso de inyección, el cual consiste en inyectar por medio de presión el material fundido en las cavidades del molde, este es refrigerado, se solidifica y el artículo final es extraído.

Sin embargo, una pieza de calidad puede exigir características precisas, que en el transcurso del proceso de fabricación pueden llegar a variar, generando desperfectos en el producto y a su vez, la acumulación de material de desecho, lleva a buscar alternativas de producción con material reciclado y al desarrollo de mezclas con material virgen, para minimizar así el volumen de residuos.

El reciclaje de plásticos permite recuperar los materiales de desecho, sin embargo, para conseguir efectuarlo es importante conocer la simbología de clasificación, que se encuentra en los diferentes productos elaborados con este material. Hay que considerar también, el color de los desechos, ajustando estos al color final del nuevo producto a fabricar

OBJETIVOS

General

Proporcionar la información necesaria para minimizar el almacenamiento prolongado del material reciclado producto de producciones defectuosas, aprovechando las características de los materiales. Asimismo dar a conocer las condiciones de operación requeridas por cada material utilizado en la empresa, para la fabricación de sus productos.

Específicos

1. Obtener el menor número de productos defectuosos causa de una carga de material mal mezclada
2. Dar importancia a las características de operación requeridas por cada material en la fabricación de los productos plásticos.
3. Proporcionar al personal del departamento de materiales los lineamientos a seguir en la preparación de cargas para cada producción.

INTRODUCCIÓN

Los polímeros termoplásticos son materiales cuyas macromoléculas están ordenadas a manera de largas cadenas unidas entre sí, por medio de enlaces secundarios. La principal característica de estos es que pueden ser llevados a un estado viscoso una y otra vez, por medio del calentamiento y ser procesados varias veces, lo cual permite crear y diseñar distintas formas útiles en la vida cotidiana.

En el transcurso del proceso de fabricación de productos plásticos, se encuentra con los distintos parámetros que se deben tomar en cuenta para la fabricación de éstos, los cuales son velocidad de inyección, temperatura de fusión, de corte y presión adecuada para cada tipo de material, obteniendo así productos de alta calidad.

Pero una pieza de calidad, puede exigir medidas dimensionales muy precisas, coloración exacta, acabado superficial especificado y resistencia a un sin fin de ensayos físicos y químicos y como en todo proceso de formado suelen presentarse desperfectos en los productos, lo que nos llevan en primer lugar, buscar el origen del problema, y a resolverlo, pero aunque el problema de formado quede resuelto, existe un problema más. ¿Qué hacer con las piezas defectuosas?

Las producciones defectuosas pueden ser causa, aparte de mala calibración de la máquina, en lo que respecta a temperatura, presión y velocidad de inyección, con relación a las requeridas por el material en función. También puede ser producto de material contaminado, y pigmentación inadecuada del material.

Estas producciones defectuosas afectan la productividad, debido a que el material empleado, aunque es reciclado no siempre tiene uso en las nuevas producciones, por lo que es necesario almacenarlo hasta encontrarle utilidad, provocando una baja en el margen de utilidad de la empresa.

Debido a la problemática que se presenta en la utilización del material reciclado, se realiza un estudio sobre los recursos y condiciones de operación requeridos en la utilización de estos, buscando productos alternativos, así como las características óptimas del material reciclado para ser procesado nuevamente, evitando de esta forma el almacenamiento prolongado del material por falta de aplicación.

TECNOPACK, S.A. es una empresa dedicada a la fabricación de productos plásticos, actualmente se ve afectada debido al aumento de productos defectuosos, que deben fabricarse nuevamente, y por lo tanto al almacenamiento excesivo de material reciclado sin utilidad. Por lo que permite se realice el estudio mencionado anteriormente en sus instalaciones.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Descripción general de la empresa

TECNOPACK, S.A. es una empresa dedicada a la elaboración de productos a base de polímeros, se encuentra ubicada en la 44 calle final de la Zona 12, y cuenta con los siguientes departamentos:

- **Departamento de Producción:**

Es el departamento encargado de determinar la secuencia de las operaciones, las inspecciones y los métodos, se piden las herramientas, se solicita y controla el material que se va a trabajar, se asignan tiempos, se programa, se distribuye y se lleva el control de trabajo y se logra la satisfacción del cliente. Es el encargado de controlar la calidad del producto, crear programas de producción que satisfagan los requerimientos de los clientes así como la confiabilidad del mismo.

Este departamento trabaja con producciones bajo pedido, es decir, que para que se lleve a cabo una producción debe existir previa una orden, un contrato, un pedido establecido.

- **Departamento de Pigmentos**

Es el encargado de proveer el material para las distintas producciones, previa orden de trabajo, prepara las cargas de material para cada máquina, tomando en cuenta las especificaciones del producto a trabajar, tanto en material como en color.

Si es necesario preparar fórmula para llegar al color requerido por el cliente, es el encargado de elaborarlo, realizando las pruebas pertinentes para llegar al tono deseado.

- **Departamento Metal Mecánica**

En este departamento se elaboran los distintos moldes a utilizar en las producciones, así como los arreglos requeridos en algunos de ellos. Cuenta con tornos manuales y CNC, así como su departamento de dibujo, en el cual se elaboran los planos y programas a utilizar en la elaboración de los distintos moldes.

- **Departamento de Recursos Humanos**

Se encarga de llevar registro e información sobre el personal, administrar el pago de las remuneraciones. Mantener actualizados la documentación y los registros con todos los antecedentes y la información referida al personal.

Controlar la asistencia y los horarios de trabajo, sin perjuicio del control obligatorio que debe realizar cada Dirección. Así como lo relativo a licencias, permisos, asignaciones familiares y todo lo relacionado a solicitudes del personal.

1.2. Conceptos Generales de materiales termoplásticos utilizados en TECNOPACK, S.A. para la fabricación de productos plásticos

1.2.1 Polímeros Termoplásticos:

El grupo termoplástico presenta la propiedad común de poder cambiar de forma por el calor y la presión, una vez fabricadas, sin que se varíe su composición química, logrando así que los recortes se puedan volver a utilizar y trabajar por flexión, torsión, etc.

1.2.1.1 Polipropileno (PP)

Es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso. El PP es un plástico rígido de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y de más baja densidad. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.), se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería. (El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado y extrusión/ termo formado)

Como el polipropileno tiene un grupo metilo (CH_3) más que el etileno en su molécula, cuando se polimeriza, las cadenas formadas dependiendo de la posición del grupo metilo pueden tomar cualquiera de las tres estructuras siguientes:

Posee alta cristalinidad, por lo que sus cadenas quedan bien empacadas y producen resinas de alta calidad.

1.2.1.2 Polipropileno Homopolímero

Presenta alta resistencia a la temperatura, puede esterilizarse por medio de rayos gamma y óxido de etileno, tiene buena resistencia a los ácidos y bases a temperaturas debajo de 80°C, pocos solventes orgánicos lo pueden disolver a temperatura ambiente.

Posee buenas propiedades dieléctricas, su resistencia a la tensión es excelente en combinación con la elongación, su resistencia al impacto es buena a temperatura ambiente, pero a temperaturas debajo de 0°C se vuelve frágil y quebradizo.

El Polipropileno Homopolímero tiene las siguientes aplicaciones principalmente:

- a) Película
- b) Rafia
- c) Productos Médicos (jeringas, instrumentos de laboratorio, etc.)

1.2.1.3 Polipropileno Copolímero

Presenta excelente resistencia a bajas temperaturas, es más flexible que el tipo Homopolímero, su resistencia al impacto es mayor y aumenta si se modifica con hule EPDM.

Incrementando también su resistencia a la tensión al igual que su elongación; sin embargo, la resistencia química es inferior que el homopolímero, debilidad que se acentúa a temperaturas elevadas.

El Polipropileno Copolímero Impacto se utiliza en los siguientes sectores:

- a) Sector de Consumo (Tubos, perfiles, juguetes)
- b) Automotriz (Acumuladores, tableros, etc.)
- c) Electrodomésticos (Cafeteras, carcasas, etc.)

1.2.2 Polietileno (PE)

Son termoplásticos semicristalinos. Se destacan en general por una buena resistencia química, alta tenacidad y elongación en la rotura, así como buenas propiedades de aislamiento eléctrico. Pueden ser procesados en prácticamente todos los procesos usuales, son económicos, y por ello, han encontrado una amplia aplicación. Hoy se han convertido en el grupo de plásticos más importante desde el punto de vista cuantitativo.

Clasificación

La abreviatura de polietileno comúnmente utilizada es PE. Los polietilenos pueden clasificarse en:

- **PEBD** (en inglés conocido como LDPE o PE-LD): Polietileno de Baja Densidad;
 - No tóxico
 - Flexible

- Liviano
 - Transparente
 - Inerte (al contenido)
 - Impermeable
 - Poca estabilidad dimensional, pero fácil procesamiento
 - Bajo costo
- **PEAD** (en inglés conocido como HDPE o PE-HD): Polietileno de Alta Densidad; densidad igual o menor a 0.941 g/cm^3 . Tiene un bajo nivel de ramificaciones, por lo cual su densidad es alta, las fuerzas intermoleculares son altas también.
 - Resistente a las bajas temperaturas;
 - Alta resistencia a la tensión, compresión, tracción;
 - Baja densidad en comparación con metales u otros materiales;
 - Impermeable;
 - Inerte (al contenido), baja reactividad;
 - No tóxico
 - Poca estabilidad dimensional
- **PELBD**: Polietileno lineal de baja densidad.

1.2.2.1 Polietileno de baja densidad (PEBD O LDPE)

El polietileno de baja densidad tiene una densidad en el rango de $0.910 - 0.925 \text{ g/cm}^3$, en función de la estructura molecular del polímero. El PEBD tiene una estructura en su mayor parte amorfa.

Es un material traslucido, inodoro, su punto de fusión varia dependiendo del grado de la resina, como promedio en 110 °C tiene una conductividad térmica baja como la mayoría de los materiales termoplásticos.

Las propiedades mecánicas del polietileno de baja densidad, dependen del grado de polimerización y la configuración molecular, es decir, cuanto mas elevado sea el peso molecular mejor serán las propiedades

Debido a la baja conductividad eléctrica, el PE se ha convertido en un aislante de primera, tanto en alta como en baja tensión

La naturaleza no polar del polietileno, le confiere gran resistencia a los ataques de sustancias químicas. A temperaturas menores de 60 °C, resiste a la mayoría de los solventes, ácidos, bases y sales en cualquier concentración .por otro lado a temperaturas mayores es soluble en solventes orgánicos alifáticos y especialmente en los aromáticos y clorados. Es totalmente atoxico, impermeable al agua y relativamente poco permeable al vapor de agua y gases, puede estar en contacto directo con alimentos sin presentar riesgo para los consumidores.

1.2.2.2 Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE)

El polietileno de alta densidad tiene una densidad en el rango de 0.941 – 0.965 g/cm³, presenta un alto grado de cristalinidad, siendo así una material opaco y de aspecto ceroso, las propiedades de cristalinidad y mayor densidad se relacionan con las moléculas mas empaçadas, ya que casi no existen ramificaciones

La rigidez, dureza y resistencia a la tensión de los polietilenos, se incrementa con la densidad, el PEAD presenta mejores propiedades mecánicas que el PEBD y el PELBD, también presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión.

El calor necesario para llegar al punto de fusión, esta relacionado con la cristalinidad. El polietileno de alta densidad, muestra un punto de fusión entre 120 °C Y 136°C, mayor al del PEBD.

El PEAD tiene excepcional resistencia a sustancias químicas y otros medios. No es atacado por soluciones acuosas, salinas, ácidos y álcalis. La solubilidad del polietileno en hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados, depende de la cristalinidad, pero a temperaturas elevadas el PEAD es soluble en estos.

1.3. Propiedades

1.3.1 Propiedades del Polipropileno

Las propiedades típicas del polipropileno son:

-Baja densidad

-Alta rigidez, dureza y resistencia

-Resistencia térmica hasta + 100 °C

-Temperatura de fragilidad de los homopolímeros = 0 °C (los copolímeros son más resistentes al impacto)

-Opaco, incoloro

- Las propiedades eléctricas son comparables a las del Polietileno
- El PP es resistente a los ácidos u álcalis inorgánicos débiles, alcoholes, algunos aceites y lejías
- El PP no es resistente a los oxidantes fuertes ni a los hidrocarburos halogenados. Se hincha en hidrocarburos alifáticos y aromáticos como la gasolina o el benceno (principalmente a altas temperaturas.

Solamente con la correspondiente estabilización, el PP es resistente a la radiación UV.

1.3.1.1 Dispersión de pesos moleculares

Como en la síntesis de otros polímeros, la longitud de las cadenas de polipropileno creadas en una misma partida no es uniforme. Se obtiene una dispersión de pesos moleculares más o menos amplia, que condiciona las propiedades mecánicas del grado producido. La distribución de pesos moleculares viene restringida por los procesos de fabricación, por las condiciones de operación, y sobre todo por los sistemas catalíticos empleados.

1.3.1.2 Viscosidad - Características reológicas

La viscosidad en fundido es, junto con la dispersión de pesos moleculares una de las características más importantes a la hora de la caracterización de los grados de polipropileno, ya que influye directamente sobre las condiciones de procesado, y por ello sobre la economía de los procesos.

Una manera de caracterizar la viscosidad de los productos es por medio de un ensayo normalizado llamado índice de fluidez. Cuanto mayor es el índice de fluidez, menor es la viscosidad. Está relacionado de manera inversa con el peso molecular del polímero.

1.3.1.3 Cristalinidad - Propiedades mecánicas

Al tratarse de moléculas altamente lineales, las moléculas de polipropileno tienden a tomar en estado sólido una estructura ordenada, semicristalina. Las moléculas forman cadenas largas y estables, con altos pesos moleculares. Esta es la que le confiere sus propiedades mecánicas excepcionales, en particular en lo que respecta a la dureza, la resistencia a la tracción y la rigidez.

1.3.1.4 Compuestos y mezclas

Como otros termoplásticos, el polipropileno permite ser procesado y tratado fuera del reactor después del proceso de síntesis. Es común entonces verle empleado como material en mezclas con otros polímeros o con cargas minerales en altas proporciones (superiores al 10%) para formar materiales compuestos. Estos materiales tienen propiedades diferenciadas de aquellas del material de partida (mayor rigidez, o mejor resistencia al impacto, etc.).

Los diferentes grados de polipropileno suelen incorporar indistintamente diversos paquetes de aditivos (en proporciones inferiores al 1 %), cuya finalidad suele ser la mejora de la estabilidad termo-oxidativa de los productos, o de sus propiedades físicas

(Aumento de la transparencia, de la rigidez, o mejora del aspecto superficial).

En este campo, los nuevos desarrollos son de gran importancia. El estudio de cargas y de fibras novedosas es otro factor de desarrollo importante que se potencia en la actualidad.

De acuerdo con esta clasificación, el polipropileno debe ser considerado como un grupo de polímeros, con propiedades físicas variadas, y no como un único producto. Es por ello que sus aplicaciones son tan variadas.

1.3.2 Propiedades del Polietileno

El polietileno de alto peso molecular es un sólido blanco y translúcido. En secciones delgadas es casi del todo transparente. A las temperaturas ordinarias es tenaz y flexible, y tiene una superficie relativamente blanda que puede rayarse con la uña. A medida que aumenta la temperatura, el sólido va haciéndose más blando y finalmente se funde a unos 110°C, transformándose en un líquido transparente. Si se reduce la temperatura por debajo de la normal, el sólido se hace más duro y más rígido, y se alcanza una temperatura a la cual una muestra no puede doblarse sin romperse.

Los polietilenos de alto peso molecular muestran más orientación que los materiales de peso molecular bajo, y la orientación disminuye a medida que sube la temperatura.

Polietileno sólido: En la tabla I se muestran algunas de las propiedades típicas del polietileno sólido.

1.3.2.1 Propiedades físicas y mecánicas

Tabla I. Propiedades físicas y mecánicas

Peso molecular medio	25.000
Viscosidad intrínseca (en tetranidronaftaleno a 75 °C),dlts/gr.	1,0
Punto de Fusión, °C	110
Densidad	
a 20 °C	0,92
a 50 °C	0,90
a 80 °C	0,87
a 110 °C	0,81
Coefficiente de dilatación lineal entre 0 y 40 °C, por °C	0,0002
Aumento de volumen por calentamiento desde 20 a 110 °C,	14
Compresibilidad a 20 °C, por atm.	$5,5 \times 10^{-5}$
Calor específico	
a 20 °C	0,55
a 50 °C	0,70
a 80 °C	0,90
Índice de refracción	1,52

Continúa

Módulo de Young (0-5% de extensión), Kg./cm ²	1.600
Resistencia a la tracción a 20 °C., Kg./cm ²	150
Resistencia al choque (barra con muesca de 0,5 plg. en cuadro),Kgm	+2,07
Dureza Brinell (bola de 2 mm de diám., 3 Kg	2
Conductividad térmica, cal/ (seg.) (cm ²) (°C/cm.	0,0007
Alargamiento en la ruptura	500

Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Estas propiedades se refieren a un producto con peso molecular aproximado de 25.000. Algunas de las propiedades son relativamente insensibles al peso molecular, entre ellas la densidad, el punto de fusión, el calor específico, la dureza y el módulo de Young; otras, como la resistencia a la tracción, la resistencia al choque, la resistencia al desgarramiento, el alargamiento en la rotura por tracción y la flexibilidad a temperaturas bajas, son sensibles al peso molecular, como se muestra en la tabla II. La elección del peso molecular necesario para diferentes usos significa, en general, una transacción entre las propiedades mecánicas mejoradas del material de alto peso molecular y la mayor facilidad para fabricar artículos con el material de peso molecular más bajo.

Tabla II. Propiedad mecánica en relación al peso molecular

Propiedad = f(peso molecular)	Propiedad NO es f(peso molecular)
Resistencia a la tracción	Densidad
Resistencia al choque	Punto de fusión
Resistencia al desgarramiento	Calor específico
Alarg. En la rotura por tracción	Dureza
Flexibilidad a bajas Temp.	Módulo de Young

Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

La tensión en el punto de ruptura depende del peso molecular; pero para un material con peso molecular de 25.000 puede ser el doble de la tensión en el punto cedente. La forma de la curva general de esfuerzo-deformación depende de la temperatura y de la rapidez de aplicación del esfuerzo. A medida que aumenta la temperatura, baja el punto cedente; mientras que un aumento en la rapidez con que aplica la tracción da como resultado un aumento del punto cedente y de la resistencia final, y también en la perfección de la orientación del ejemplar estirado en frío. A medida que se reduce la temperatura por debajo de las temperaturas ordinarias, se reduce el alargamiento en la ruptura y se alcanza una temperatura en la cual no se produce estirado en frío, rompiéndose el ejemplar bruscamente con sólo un alargamiento de 10%. Esta temperatura es aproximadamente aquella en que un ejemplar no puede ser doblado más que en un grado muy limitado sin que se rompa como si fuera un material quebradizo.

Una propiedad bastante extraordinaria del polietileno de peso molecular inferior a 20.000 es su sensibilidad al agrietamiento cuando se somete a tensiones en contacto con ciertos líquidos, en especial líquidos orgánicos polares. Los rasgos moleculares que rigen esta propiedad son semejantes a los que regulan la flexibilidad a baja temperatura, y si es necesaria la resistencia a esta forma de ataque, debe usarse polietileno de alto peso molecular.

Todas las propiedades mecánicas del polietileno son sensibles a la historia térmica del ejemplar. Si el material se enfría rápidamente desde el estado fundido, el sólido tiene densidad y cristalinidad menores; por consiguiente es más blando y más flexible y, por lo menos al principio, es más resistente al agrietamiento a bajas temperaturas y al agrietamiento en presencia de líquidos orgánicos.

Por otro lado, es probable que contenga más tensiones internas. El polietileno sólido sufre deslizamiento en frío, como sucede a muchos otros polímeros; pero en virtud de su naturaleza cristalina, este corrimiento es muy pequeño a temperaturas ordinarias, salvo bajo cargas que se aproximan al punto de cedencia. Sin embargo, a temperaturas más altas, el corrimiento en frío es apreciable. Cuando se somete una muestra a tracción, esfuerzo cortante o compresión, al principio se deforma rápidamente; pero la rapidez con que varían las dimensiones disminuye a medida que pasa el tiempo; por lo menos durante un cierto tiempo, la deformación es aproximadamente una función lineal del logaritmo del tiempo de aplicación. A temperaturas más altas y con tensiones mayores se produce una deformación permanente de la muestra.

Tabla III. Propiedades de los LDPE y HDPE

Propiedad	LDPE	LLDPE	HDPE
Densidad,g/cm ³	0,92-0,93	0,922-0,926	0,95-0,96
Resistencia a la tracción x 1000 psi	0,9-2,5	1,8-2,9	2,9-5,4
Elongación, %	550-600	600-800	20-120
Cristalinidad, %	65	95
Rigidez dieléctrica, V/milla.	480	480
Máxima temperatura de uso, °C	82-100	480	80-120

Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

En la tabla anterior se muestran las propiedades del polietileno de alta densidad y de baja densidad.

Solubilidad e hinchazón: A temperaturas inferiores a 60 °C., el polietileno, si se exceptúan las muestras de peso molecular muy bajo, es muy poco soluble en los disolventes, pero a temperaturas más altas es fácilmente soluble en hidrocarburos e hidrocarburos halogenados, aunque sigue siendo muy poco soluble en líquidos más polares, como alcoholes, ácidos, ésteres, aminas, fenoles y nitrocompuestos.

La rapidez con que varía la solubilidad en función de la temperatura es frecuentemente tan grande que da el aspecto de casi una temperatura crítica por debajo de la cual el polímero es insoluble y por encima de la cual es fácilmente soluble. La solubilidad del polietileno depende hasta cierto punto del peso molecular; las variedades más solubles son las de peso molecular más bajo; pero a temperaturas inferiores a 110°C, tiene también mucha importancia el grado de ramificación de la cadena y, por consiguiente, la capacidad del polímero sólido para cristalizar. De dos polímeros con el mismo peso molecular, pero con diferentes grados de ramificación, el más soluble es el más ramificado.

Cuando se pone polietileno sólido en contacto con un disolvente, se produce absorción apreciable del líquido por polímero sólido e hinchazón apreciable del sólido, incluso a temperaturas en las cuales no se produce disolución apreciable del polímero. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la cantidad y la rapidez de la absorción. La absorción del líquido es afectada por el peso molecular y por la estructura molecular y disminuye a medida que aumenta el peso molecular y a medida que el polímero tiene una estructura más cristalina y menos ramificada.

1.3.2.2 Propiedades moleculares básicas

Tabla IV. Efecto producido por las tres propiedades moleculares

PROPIEDADES FÍSICAS	Si se aumenta la densidad (Cristalinidad) entre 0,915 y 0,938)	Si se aumenta el peso molecular promedio o se disminuye el índice de Fusión	Si se hace más estrecha la distribución del peso Molecular
Viscosidad de la masa fundida	más elevada	más elevada	ligeramente mayor
Punto de ablandamiento	mayor	ligeramente mayor	ligeramente mayor
Resist. al estiramiento	mayor	ligeramente mayor	...
Resist. a la tracción en rotura	ligeramente menor	más elevada	ligeramente mayor
Elongación en rotura	menor	más elevada	...
Resist. al escurrimiento	más elevada	Ligeramente mayor	más elevada
Rigidez a la flexión	mayor	ligeramente mayor	...
Flexibilidad	menor
Dureza	mayor	ligeramente mayor	...
		mayor	

Continúa

Resistencia a la abrasión	más elevada	ligeramente mayor	...
Contracción	más elevada	más elevada	...
Deformación	ligeramente mayor	más elevada	más elevada
Resist. al impacto (Tenacidad)	menor	más elevada	...
Resist. a la fragilidad	menor	ligeramente mayor	ligeramente mayor
Resist. a la desgarradura	Depende del proceso de fabricación de la película y dirección de la rotura.		
Resist. a la fragilidad a bajas temperaturas	menor	más elevada	más elevada
Resist. al cuarteo bajo tensión ambiental	menor	más elevada	ligeramente mayor
Impermeabilidad a la absorción de grasas y aceites.	mayor	ligeramente mayor	...
Transparencia	más elevada	menor	...
Ausencia de opacidad	más elevada	menor	...
Brillo	más elevada	menor	...
Tiraje	ligeramente mayor	menor	Menor

Continúa

Resist. al pegado entre sí y al molde	más elevada	ligeramente mayor	...
Propiedades eléctricas.	ligeramente mayor	no afecta	no afecta

Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Las relaciones entre estas tres propiedades moleculares básicas y otras propiedades físicas del PE no siempre son sencillas y claras. Otras características estructurales aparte de las tres nombradas, ejercen con frecuencia su influencia sobre las propiedades físicas de la resina. Las condiciones de operación pueden alterar la orientación (alineamiento) de las moléculas y por lo tanto afectar las propiedades de dicha resina.

El polietileno es insoluble en agua y sólo absorbe cuando ésta en un grado muy limitado. La absorción de agua aumenta con la temperatura.

Permeabilidad: Una propiedad importante del polietileno es su pequeña permeabilidad al vapor de agua. Por otro lado, el polietileno tiene una permeabilidad elevada a los vapores orgánicos y al oxígeno. La permeabilidad aumenta con la temperatura.

Propiedades eléctricas: Como podía esperarse de su composición química, el polietileno tiene una conductividad eléctrica pequeña, baja permitividad, un factor de potencia bajo (9,15) y una resistencia dieléctrica elevada. Las propiedades eléctricas no son especialmente sensibles a la humedad en virtud de la absorción muy pequeña de agua por el polietileno; pero el factor de potencia es probable que aumente si se somete el polietileno a la oxidación.

Propiedades químicas: El polietileno es uno de los polímeros más estables e inertes, como podía esperarse de su estructura sustancialmente parafínica. Sin embargo, tiene algunas reacciones que limitan sus usos y que exigen adoptar ciertas precauciones durante su tratamiento.

En ausencia completa de oxígeno, el polietileno es estable hasta 290 °C. Entre 290 y 350 °C, se descompone y da polímeros de peso molecular más bajo, que son normalmente termoplásticos o ceras, pero se produce poco etileno. A temperaturas superiores a 350 °C, se producen productos gaseosos en cantidad creciente, pero el producto principal no es el etileno, sino el butileno. En este respecto, el polietileno difiere del poliestireno y del metilacrilato de metilo, que dan el monómero como producto principal de la pirólisis. En presencia de oxígeno, el polietileno es mucho menos estable. Se han observado cambios en las propiedades físicas y químicas que indican oxidación y degradación de las moléculas del polímero a 50°C, y en presencia de la luz se produce una degradación incluso a las temperaturas ordinarias.

1.3.2.3 Oxidación del Polietileno

La oxidación térmica del polietileno es importante en el estado fundido, porque influye sobre el comportamiento en los procesos de tratamiento, y en el estado sólido porque fija límites a ciertos usos. Los principales efectos de la oxidación del polietileno son variaciones en el peso molecular que se manifiestan primero por cambios en la viscosidad y, cuando son más intensos, por deterioro en la resistencia mecánica, variación en las propiedades eléctricas (especialmente aumento en el factor de potencia), desarrollo de olor rancio y cambio de color al amarillo, pardo y, en casos extremos, al negro.

Una oxidación intensa, especialmente a temperaturas elevadas, conduce a la degradación de la cadena y a la pérdida de productos volátiles: monóxido de carbono, agua y ácidos grasos, y el producto se hace quebradizo y parecido a la cera.

El proceso de la oxidación es autocatalítico; aumenta la rapidez de la oxidación a medida que aumenta la cantidad de oxígeno absorbido. La velocidad de oxidación varía de una muestra a otra y es mayor cuando la ramificación de cadena es grande y también si el contenido inicial de grupos que contienen oxígeno es grande.

La oxidación térmica del polietileno puede reducirse o suprimirse durante algún tiempo incorporándole antioxidantes. Al elegir el antioxidante, se prestará atención a puntos como la ausencia de color y olor y a la baja volatilidad para evitar pérdidas durante el tratamiento a temperaturas altas.

1.4. Aplicaciones

1.4.1 Polipropileno.

A partir de los procesos industriales se pueden preparar un sin fin de productos de polipropileno diferentes, cuyas propiedades varían según la longitud de las cadenas del polímero (peso molecular), de su polidispersidad, de los comonomeros eventualmente incorporados, etc. Estas características básicas definen las propiedades mecánicas del material y sus aplicaciones finales. Literalmente se habla de diferentes tipos o grados de polipropileno. Por todo esto, la gran diversidad de productos producidos con esta poliolefina le permite tener aplicaciones tan variadas en TECNOPACK, S.A. Su uso se limita a los siguientes productos:

- Baldes, recipientes, botellas
- Juguetes
- Envases de alimentos
- Serchas
- Clips y bases para calendarios

Gracias a sus características en estado fundido, el polipropileno puede ser moldeado por la mayoría de los diferentes procesos de transformación siendo utilizado en TECNOPACK S.A. moldeado por inyección.

1.4.1.1 Moldeo por inyección

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

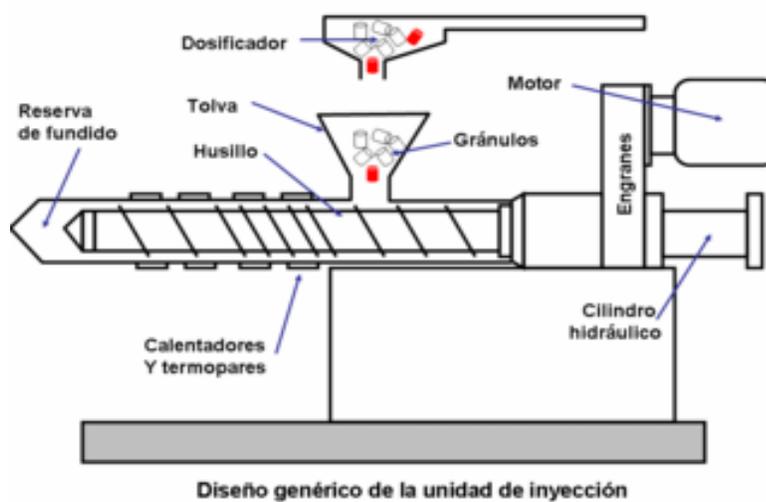
El polipropileno es apreciado por su fácil proceso y por sus excelentes propiedades finales, que incluyen baja densidad, alto brillo y rigidez, resistencia térmica y química, entre otras.

El diseño actual de la máquina de moldeo por inyección ha sido influido por la demanda de productos con diferentes características geométricas, con diferentes polímeros involucrados y colores. Además, su diseño se ha modificado de manera que las piezas moldeadas tengan un menor costo de producción, lo cual exige rapidez de inyección, bajas temperaturas, y un ciclo de moldeo corto y preciso.

El principio del moldeo

Los polímeros conservan su forma tridimensional cuando son enfriados por debajo de su Temperatura de transición vítrea [Tg] y, por tanto, también de su temperatura de fusión para polímeros semicristalinos. Los Polímeros amorfo polímeros amorfos, cuya temperatura útil es inferior a su Tg, se encuentran en un estado termodinámico de pseudo equilibrio. En ese estado, los movimientos de rotación y de relajación (desenredo de las cadenas) del polímero están altamente impedidos. Es por esta causa que, en ausencia de esfuerzos, se retiene la forma tridimensional. Los polímeros semicristalinos poseen, además, la característica de formar cristales. Estos cristales proporcionan estabilidad dimensional a la molécula, la cual también es en la región cristalina termodinámicamente estable. La entropía de las macromoléculas del plástico disminuye drásticamente debido al orden de las moléculas en los cristales.

Figura 1. Unidad de inyección



Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Unidad de inyección

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir. El estudio del proceso de fusión de un polímero en la unidad de inyección debe considerar tres condiciones termodinámicas:

1. La temperatura de procesamiento del polímero.
2. La capacidad calorífica del polímero C_p [cal/g °C].
3. El calor latente de fusión, si el polímero es semicristalino.

El proceso de fusión involucra un incremento en el calor del polímero, que resulta del aumento de temperatura y de la fricción entre el barril y el husillo.

La fricción y esfuerzos cortantes son básicos para una fusión eficiente, dado que los polímeros no son buenos conductores de calor. Un incremento en temperatura disminuye la viscosidad del polímero fundido; lo mismo sucede al incrementar la velocidad de corte. Por ello ambos parámetros deben ser ajustados durante el proceso. Existen, además, metales estándares para cada polímero con el fin de evitar la corrosión o degradación. Con algunas excepciones —como el PVC—, la mayoría de los plásticos pueden utilizarse en las mismas máquinas.

La unidad de inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo el barril calentadores y sensores para mantener una temperatura programada constante. La profundidad entre el canal y el husillo disminuye gradual (o drásticamente, en aplicaciones especiales) desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación. De esta manera, la presión en el barril aumenta gradualmente. El esfuerzo mecánico, de corte y la compresión añaden calor al sistema y funden el polímero más eficientemente que si hubiera únicamente calor, siendo ésta la razón fundamental por la cual se utiliza un husillo y no una autoclave para obtener el fundido.

Una diferencia sustancial con respecto al proceso de extrusión es la existencia de una parte extra llamada cámara de reserva. Es allí donde se acumula el polímero fundido para ser inyectado. Esta cámara actúa como la de un pistón; toda la unidad se comporta como el émbolo que empuja el material.

Debido a esto, una parte del husillo termina por subutilizarse, por lo que se recomiendan cañones largos para procesos de mezclado eficiente. Tanto en inyección como en extrusión se deben tomar en cuenta las relaciones de PvT (Presión, volumen, temperatura), que ayudan a entender cómo se comporta un polímero al fundir.

Unidad de cierre

Es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre bastante grande que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde. Las fuerzas localizadas pueden generar presiones del orden de cientos de MPa, que sólo se encuentran en el planeta de forma natural únicamente en los puntos más profundos del océano.

Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde, causando así que la pieza final tenga defectos de rebabas. Es común utilizar el área proyectada de una pieza (área que representa perpendicularmente a la unidad de cierre el total de la cavidad) para determinar la fuerza de cierre requerida, excluyendo posibles huecos o agujeros de la pieza.

$$F = P_m \times A_p$$

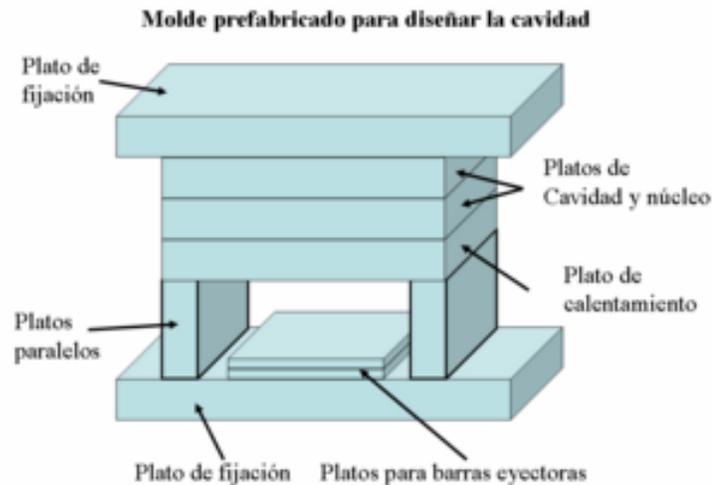
Donde:

F = Fuerza (N)

P_m = Presión media (Pa)

A_p = Área proyectada (m²)

Figura 2. Molde prefabricado para diseñar la cavidad



Esquema de un molde comercial prefabricado, al cual sólo le falta la cavidad para la pieza deseada. (Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre)

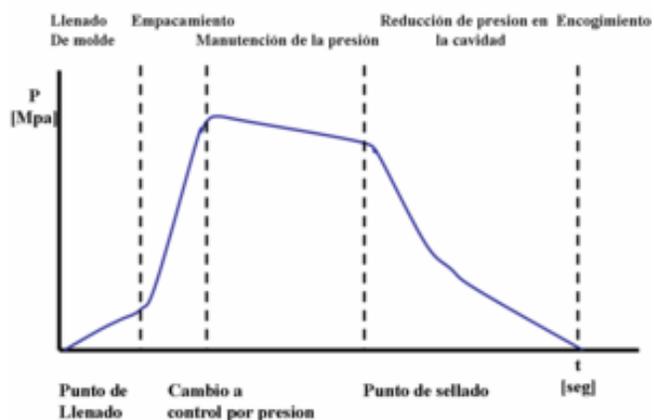
El molde de la figura 2, (también llamado herramienta) es la parte más importante de la máquina de inyección, ya que es el espacio donde se genera la pieza; para producir un producto diferente, simplemente se cambia el molde, al ser una pieza intercambiable que se atornilla en la unidad de cierre.

Las partes del molde son:

- Cavidad: es el volumen en el cual la pieza será moldeada.
- Canales o ductos: son conductos a través de los cuales el polímero fundido fluye debido a la presión de inyección. El canal de alimentación se llena a través de la boquilla, los siguientes canales son los denominados bebederos y finalmente se encuentra la compuerta.

- Canales de enfriamiento: Son canales por los cuales circula agua para regular la temperatura del molde. Su diseño es complejo y específico para cada pieza y molde, ya que de un correcto enfriamiento depende que la pieza no se deforme debido a contracciones irregulares.
- Barras expulsoras: al abrir el molde, estas barras expulsan la pieza moldeada fuera de la cavidad.

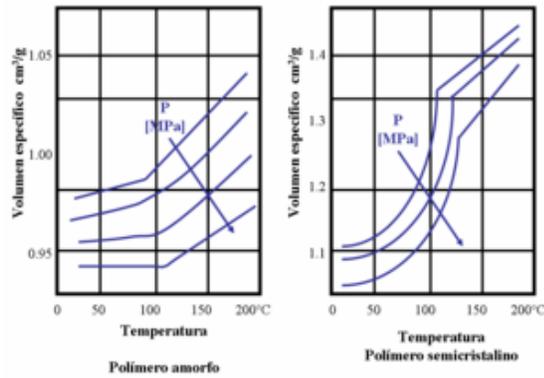
Figura 3. Control de parámetros



Llenado de molde por inyección.

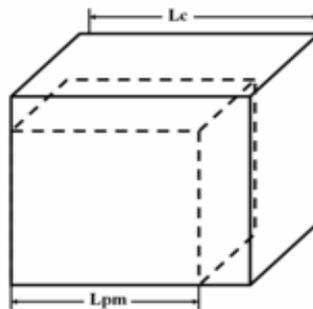
Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Figura 4. Líneas genéricas isobáricas de polímeros amorfos y semicristalinos en inyección



Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Figura 5. Contracción al enfriarse las partes inyectadas



Al enfriarse, las partes inyectadas se contraen, siendo su volumen menor que el de la cavidad. Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Figura 6. Molde para fabricar un clip para papel



Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Los parámetros más importantes, mostrados en las figuras 3 a 5, para un proceso de inyección son los siguientes.

Ciclo de moldeo

En el ciclo de moldeo se distinguen 6 pasos principales (aunque algunos autores llegan a distinguir hasta 9 pasos):

1. Molde cerrado y vacío. La unidad de inyección carga material y se llena de polímero fundido. (Figura 6, ejemplo de molde para clip).
2. Se inyecta el polímero abriéndose la válvula y, con el husillo que actúa como un pistón, se hace pasar el material a través de la boquilla hacia las cavidades del molde.
3. La presión se mantiene constante para lograr que la pieza tenga las dimensiones adecuadas, pues al enfriarse tiende a contraerse.
4. La presión se elimina. La válvula se cierra y el husillo gira para cargar material; al girar también retrocede.
5. La pieza en el molde termina de enfriarse (este tiempo es el más caro, pues es largo e interrumpe el proceso continuo), la prensa libera la presión y el molde se abre; las barras expulsan la parte moldeada fuera de la cavidad.

6. La unidad de cierre vuelve a cerrar el molde y el ciclo puede reiniciarse.

VARIABLES DEL PROCESO.

- Variables de la máquina
- Variables del molde
- Variables de la materia prima
- Variables del equipo periférico (secadoras, molinos, climas etc.)
- Variables del acabado y manejo de las piezas moldeadas.

Las primeras cuatro variables involucran tiempos, presiones, temperaturas y velocidades, los cuales son parámetros que se pueden modificar para corregir defectos en el producto. La última variable de la lista anterior, posiblemente la más voluble de las cinco, es en algunas ocasiones difícil de fijar, debido a que interviene el factor humano.

PvT (relaciones de presión-volumen-temperatura)

En cualquier polímero, las relaciones entre presión, volumen y temperatura son muy importantes para obtener un proceso de inyección eficiente, ya que el volumen específico de un polímero aumenta al ascender la temperatura del mismo.

Entre estas dos dimensiones se presentan curvas isobáricas por las cuales se guía el polímero.

El comportamiento de los polímeros amorfos y semicristalinos en el paso de enfriamiento es muy diferente, lo que debe ser tenido en cuenta si se quiere obtener una pieza de alta calidad.

Para diseño de equipo de proceso es necesario conocer las relaciones de PvT de lo polímeros que se utilizarán, en su forma final, es decir aditivados. A continuación se mencionan los parámetros más comunes para el inicio de las relaciones de PvT, basados en la ecuación de Flory:

α = Coeficiente de expansión térmica

β = Compresibilidad isotérmica

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

$$\beta = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

Y una ecuación empírica es:

$$\beta (P, T) = \left\{ (P + B) \left[\frac{1}{0.0894} - \ln \left(1 + \frac{P}{B} \right) \right] \right\}^{-1}$$

Cuando $P = 0$, $\beta (0, T) = 0.0895/B(T)$

Las relaciones de PvT (presión-volumen-temperatura), se utilizan en ingeniería de polímeros para lograr un sistema técnico que, basado en la teoría molecular, proporcione datos aplicados a los polímeros en estado fundido en un amplio rango de presión y temperatura.

Cristalización y deformación de la pieza al enfriarse (contracción)

Debe tenerse en cuenta que la razón de este fenómeno se debe al cambio de densidad del material, que sigue un propio comportamiento fisicoquímico, particular para cada polímero, y que puede ser isotrópico o anisotrópico.

De acuerdo con las relaciones de PvT anteriores, se infiere que la parte moldeada sufrirá una contracción, presentando cada polímero diferentes tipos de contracción; sin embargo, puede decirse que, en general, siguen las mismas ecuaciones para contracción isotrópica:

$$C_v = \frac{V_c - V_{mp}}{V_c} = 1 - \frac{V_{mp}}{V_c}$$

$$C_L = \frac{L_c - L_{mp}}{L_c} = 1 - \frac{L_{mp}}{L_c}$$

$$C_v \approx 3 \times C_L$$

Donde:

L_c = longitud de la cavidad

L_{mp} = longitud de la parte moldeada

C_v = contracción volumétrica

C_L = contracción lineal

V_c = Volumen de la cavidad

V_{mp} = Volumen de la parte moldeada

Los polímeros semicristalinos modificarán más su tamaño dependiendo de la temperatura en la cual se les permita cristalizar. Las cadenas que forman esferalitas y lámelas ocupan menos espacio (mayor densidad) que las cadenas en estado amorfo. Por ello, el grado de cristalinidad afecta directamente a la densidad final de la pieza. La temperatura del molde y el enfriamiento deben ser los adecuados para obtener partes de calidad.

A continuación se enumeran algunos valores comunes de contracción en polímeros para inyección (para diseño de moldes es conveniente solicitar una hoja de parámetros técnicos del proveedor de polímeros para obtener un rango específico).

Tabla V. Valores de contracción en polímeros para inyección

Termoplástico	Contracción (%)
<u>Polycarbonato</u>	0,6
<u>Polietileno</u> de baja densidad	4,0 – 4,5
<u>Polipropileno</u>	1,3 – 1,6

Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Colada fría y caliente

Existen dos tipos de colada. La colada fría es el remanente de polímero solidificado que queda en los canales, y que es necesario cortar de la pieza final. La colada caliente mantiene al polímero en estado fundido para continuar con la inyección. Con esta técnica se ahorra una considerable cantidad de plástico.

Pero algunas de las desventajas la convierten en una técnica poco popular: los pigmentos deben tener mayor resistencia a la temperatura, el polímero aumenta su historia térmica, el molde debe ser diseñado especialmente para esto, pueden haber fluctuaciones en el ciclo de moldeo, etc.

1.4.1.2 Coloración del material

La coloración de las partes a moldear es un paso crítico, puesto que la belleza de la parte, la identificación y las funciones ópticas dependen de este proceso. Básicamente existen tres formas de colorear una parte en los procesos de inyección:

1. Utilizar plástico del color que se necesita (precoloreados).
2. Utilizar un plástico de color natural y mezclarlo con pigmento en polvo o colorante líquido.
3. Utilizar un plástico de color natural y mezclarlo con concentrado de color.

La elección más barata y eficiente es el uso del concentrado de color (en inglés Masterbatch), el cual se diseña con características de índice de fluidez y viscosidad acordes al polímero que se desea procesar.

Con los concentrados de color se puede cambiar de un color a otro de manera rápida, sencilla y limpia. Los pigmentos en polvo presentan mayores problemas de coloración que los concentrados de color. Los problemas de procesamiento más comunes con relación al color de una pieza son: líneas de color más o menos intenso, puntos negros, ráfagas, y piel de naranja.

Los colores pueden ser cualquiera opaco y, si el polímero es transparente, se permiten colores translúcidos. Es importante que el proveedor de los concentrados de color sea consciente de la aplicación final de la parte, para utilizar pigmentos o colorantes que no migren a la superficie. En polioleofinas no debe utilizarse colorantes porque migran, un error muy común en la industria ya que son baratos, si bien este ahorro merma la calidad de la parte y puede resultar en una reclamación por parte del cliente.

Los colores finales en la parte pueden ser translúcidos, sólidos, pasteles, metálicos, perlados, fosforescentes, fluorescentes, etc. Sin embargo, polímeros como el ABS son más difíciles de colorear que el polietileno, por su alta temperatura de proceso y su color amarillento.

Temperatura de proceso

Para inyectar un polímero, específicamente un termoplástico, es necesario conocer su temperatura de transición vítrea (T_g) y su temperatura de fusión de la región cristalina (T_m), si es un polímero semicristalino.

La temperatura de operación de cada termoplástico no es estándar, y varía según el proveedor. Es por tanto necesario solicitarle una Hoja de Especificaciones donde se encuentre tanto el índice de fluidez como la temperatura de trabajo, que además es un rango de temperaturas, y la temperatura de degradación, con lo cual se obtiene un intervalo dentro del cual se puede trabajar el material eficientemente.

Dimensiones de la máquina

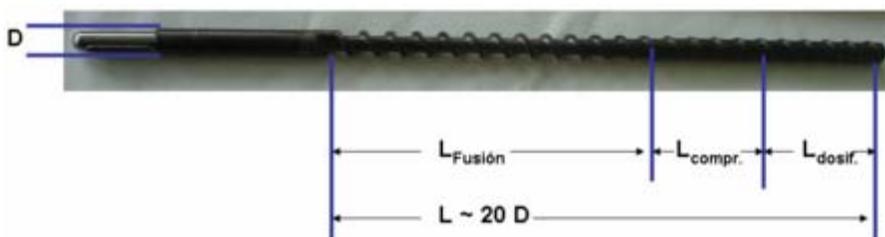
La efectividad de una máquina de inyección se basa en la cantidad de presión que esta pueda generar, por dos razones principales:

1. Incrementando la presión se puede inyectar más material
2. Incrementando la presión se puede disminuir la temperatura, que se traduce en menor costo de operación.

Las máquinas se venden dependiendo de su fuerza de cierre expresada en toneladas, y van desde 10 Ton las más pequeñas, hasta 2,500 Ton las de mayor capacidad.

Es aconsejable utilizar el cañón más largo posible si se necesita mezclar compuestos, y también hacer énfasis en el husillo adecuado. A continuación se muestra un husillo típico de laboratorio para polioleofinas:

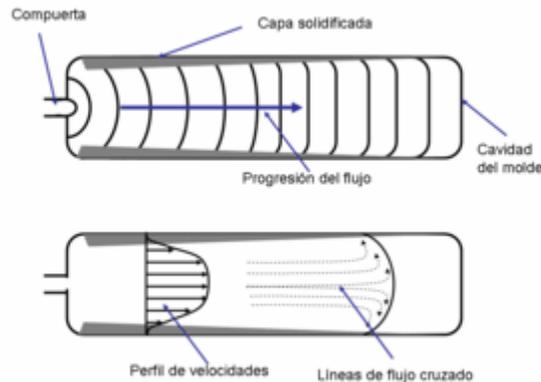
Figura 7. Dimensiones del Cañón



Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Aunque las dimensiones de la máquina dependen principalmente de la cantidad de polímero que se necesita para llenar la pieza deseada, es común que los proveedores de máquinas vendan equipos más o menos estándares. Las principales características para determinar las dimensiones de una máquina son: la capacidad de cierre, dimensiones del molde, carrera o recorrido del molde, presión de inyección, capacidad volumétrica de inyección, características de plastificado y velocidad de inyección.

Figura 8. Flujo y diseño de flujo



Flujo de polímero en la cavidad. La viscosidad del polímero aumenta al enfriarse en contacto con las paredes del molde. (Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre)

Los polímeros son materiales cuyas viscosidades son muy altas, por lo que su flujo es lento y complicado (figura 8). La razón de esto es que son cadenas muy largas de unidades más simples, a causa de lo cual los polímeros presentan una orientación con respecto al esfuerzo cortante al que han sido sometidos.

En general, es conveniente eliminar lo más posible la orientación de las moléculas, propiedad que se contrapone a la rapidez de moldeo (y por tanto al costo). Sin embargo, si el estrés debido a una orientación extremadamente alta no se libera, la pieza se deformará al enfriarse o al calentar el material en su aplicación.

El polímero entra en el molde y se va acumulando desde el punto de entrada, arrastrándose por las paredes y empujando el polímero en el centro. Cuando este toca las paredes del molde, comienza a enfriarse y solidificarse. Esto ocurre con cierta baja orientación, pero cuando se va llenando la cavidad en capas posteriores lejanas a la pared del molde, la orientación se incrementa y un inadecuado enfriamiento congela los estreses generados, siguiendo un perfil de velocidades semejante al del flujo parabólico en un tubo.

El flujo de un polímero a través de una cavidad rectangular se puede estudiar utilizando condiciones isotérmicas, o con el molde a temperaturas menores que la Tg del polímero a estudiar. Para los experimentos en condiciones isotérmicas, se observa que el tipo de polímero no modifica el flujo, que mantiene un perfil de velocidades constante, con un flujo radial después de la compuerta hasta llenar las esquinas. Después, el flujo se aproxima a un flujo tapón, perdiendo movilidad en las zonas de contacto con la pared fría. El flujo de cada polímero es estudiado por la reología.

Una aproximación al estudio del flujo de polímeros en el llenado de un molde es la ecuación de Hagen y Poiseuille, la cual considera parámetros en el régimen laminar. Esta ecuación, despejada para la viscosidad del material es:

$$\eta = \frac{r^4 \pi \Delta P}{8LQ} = \frac{r \Delta P / 2L}{\frac{4Q}{\pi r^3} \dot{\gamma}} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Donde: η = Viscosidad

r = Radio del tubo o canal

ΔP = Caída de presión

L = Longitud del tubo

Q = Flujo volumétrico

τ = Esfuerzo cortante

$\dot{\gamma}$ = Velocidad de corte

Para el diseño de los canales en el molde, se observa de la ecuación anterior que la velocidad de corte y la viscosidad se ven afectadas por el diseño del radio del canal. Si el flujo volumétrico y la caída de presión se mantienen constantes, en condiciones isotérmicas entre los ciclos de moldeo, la viscosidad permanece constante y por lo tanto se espera que la calidad de la pieza moldeada sea constante.

En la práctica, los ingenieros toman en cuenta que los polímeros son fluidos no newtonianos (particularmente son materiales visco elásticos). Por lo tanto, se deberán hacer correcciones a la fórmula anterior dependiendo de para qué plástico se realizará el molde. También se utilizan "curvas de viscosidad", que grafican η frente a $\dot{\gamma}$.

Un parámetro importante en el flujo incluye la temperatura; otra buena aproximación a polímeros obedece a la ecuación de Arrhenius:

$$\eta = K e^{\frac{-E}{RT}}$$

Donde:

K = Constante del polímero en cuestión

R = Constante universal de los gases ideales, Por lo general expresada en Joules, kelvin y moles $8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

T = Temperatura

E = Energía de activación para el flujo viscoso

Ventilación y presión

Conforme el polímero avanza desde la entrada o tolva, va reduciendo el tamaño de sus gránulos por medios tanto mecánicos (fricción, compresión y arrastres) como térmicos (aumento en su temperatura interna), llegando al estado gomoso o fusión, dependiendo de si el material es amorfo o semicristalino. Conforme este material avanza, el aire presente experimenta un aumento de presión y generalmente escapa en dirección opuesta al avance del polímero. Si esto no ocurre, entonces es necesario abrir una compuerta de ventilación, igualándose de esta manera la presión generada a la presión atmosférica. Debido a las propiedades de viscosidad y de arrastre del polímero, sólo escapa mediante la ventilación una parte mínima de plástico.

El error más común con la ventilación es el añadir aditivos espumantes desde la tolva. Los espumantes generan gas, aire o agua que queda atrapado en células abiertas o cerradas del polímero. No obstante, si la presión disminuye a presión atmosférica, este gas generado escapa, resultando así un polímero sin espumar. Para una eficiente alimentación del espumante, éste debe ser añadido después de la ventilación o eliminar el mismo.

Compuertas

Las funciones concretas de una compuerta son simples: sirven para ayudar a que el polímero solidifique pronto cuando la inyección concluye, y para separar fácilmente los remanentes de inyección de la pieza final. Muchas veces elimina la necesidad de cortar o desbastar este sobrante y acelerar el flujo de material fundido, que se refleja en una menor viscosidad y mayor rapidez de inyección.

1.4.2 Polietileno

Usos y Aplicaciones

El polietileno era utilizado en TECNOPACK S.A., en la fabricación de tarros para comprimidos (vitaminas Vital Fuerte), tapas para envases de aerosol, botellas, tubos para cremas, botellas para miel, (tipo oso), y en algunos casos en la fabricación de juguetes.

1.5 Diagnóstico

1.5.1 Productos de polipropileno

El polipropileno es un polímero utilizado en su mayoría en la producción de productos plásticos por inyección.

Se recurre al proceso de moldeo por inyección por sus altas velocidades de producción, productos con un nulo o casi nulo acabado, versatilidad y un gran número de ventajas.

TECNOPACK, S.A. siendo una empresa dedicada a la producción de productos a base de este polímero y otros, vio muy satisfactoria la transformación del plástico utilizando el moldeo por inyección el cual consiste en inyectar un polímero en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

Las piezas de plástico moldeadas se fabrican de acuerdo a especificaciones. A veces, la aplicación no precisa muchas restricciones, la pieza puede salir manchada, con líneas de flujo y hasta con huecos y ser aceptada. Pero una pieza de calidad, puede exigir medidas dimensionales muy precisas, coloración exacta, acabado superficial especificado y resistencia.

En su mayoría el material que se utiliza en la fabricación de los productos se encuentra mezclado con un porcentaje de material reciclado, el cual es producto de producciones defectuosas, ya sea por sobrecalentamiento, altas presiones, velocidad de inyección baja, etc.

El transformar material mezclado, puro con reciclado o molido, requiere de un mayor control de los factores tales como, tiempos, presiones, temperaturas y velocidades, parámetros que fácilmente podemos ajustar en la máquina para corregir defectos en nuestro producto.

1.5.1.1 Características del molido para reprocesar

Es frecuente que las piezas moldeadas no cumplan con las especificaciones que requieren, en esos casos, procedemos a analizar el problema y corregirlo.

El producto defectuoso de cada producción se puede volver a usar, por ejemplo, piezas incompletas, con rebabas, burbujas de agua, etc. Para esto se muele el producto en un molino, y se inyecta nuevamente, mezclándolo con material nuevo. En general las correderas y las coladas en el proceso de moldeo constituyen la mayoría de material para molido.

El producto defectuoso se transfiere al triturador, molino, el cual lo muele, pero en muchas ocasiones el grano del molido es muy grande, lo cual hace que el material obstruya el paso del material en la boquilla de dosificación.

El molido para reprocesar debe estar libre de materiales extraños que pueda llegar a contaminarlo. Si no se esta seguro de la identidad de un material, no se debe usar. Una cantidad muy pequeña de material indeseable puede contaminar una gran cantidad de resina virgen. El molido debe limpiarse por completo al cambiar materiales. El material molido no debe contener partículas de metal, ya que estas pueden dañar la boquilla de inyección, e incrustarse en el producto.

1.5.1.2 Fluidez del material reciclado

El material reciclado se puede utilizar y reutilizar en el formado de piezas plásticas, pero este proceso de fusión y solidificación aunque se puede repetir varias veces, cada vez que se lleva a cabo el plástico tiende a perder entre 5 y el 10% de sus propiedades mecánicas, tales como elongación, tenacidad y resistencia al impacto.

El material reciclado al ser reutilizado, como se menciona anteriormente, tiende a perder un porcentaje de sus propiedades mecánicas, lo que provoca que en la inyección del material se obtengan piezas incompletas, malformaciones de las piezas, obstrucción de la garganta de la tolva.

El material reciclado por su baja densidad, no se puede utilizar solo, en la fabricación de piezas, debido a que su bajo peso molecular no permite que el material fluya con facilidad por el ducto de dosificación, impidiendo así que el material llegue al molde.

1.5.2 Productos de polietileno

Los productos de polietileno fabricados en TECNOPACK, S.A. son en su mayoría botellas, tubos para cremas, en el área de soplado, y en el área de inyección en la fabricación de tarros para píldoras Vital Fuerte.

El polietileno es el más popular de los polímeros gracias a unas propiedades que lo hacen adecuado para un gran número de aplicaciones: baja densidad, buena resistencia química, buenas características organolépticas, transparencia, facilidad de procesado excelente soldabilidad y durabilidad. Es perfecto para la industria alimenticia.

1.5.2.1 Material reciclado sin aplicación

El polietileno es procesado generalmente en máquinas sopladoras, para fabricar los productos mencionados anteriormente. Aquí al igual que en la inyección de polipropileno, los productos defectuosos se muelen.

Pero a diferencia del material reciclado de polipropileno, el polietileno, por su bajo peso molecular, no se puede volver a utilizar en todas las máquinas de soplado, debido a la baja fluidez del material.

El material reciclado de polietileno, al ser utilizado solo un pequeño porcentaje de aproximadamente el 10%, en la producciones, se va acumulando en bodega hasta encontrar un producto apropiado para su aplicación, lo cual no siempre es posible en el área de soplado y al ser utilizado en el área de inyección, su densidad baja y sus características hacen que la pieza quede incompleta o tienda a quebrarse, contaminando de esta manera el material nuevo que se utiliza conjuntamente con éste.

En algunos casos, como lo es la fabricación de bañitos, se puede trabajar con este material pero no al 100% si no en proporciones de 30:70, 30 % material reciclado y 70% de material nuevo, lo que resulta en una inversión no muy rentable para la empresa.

1.5.2.2 Fluidez del material reciclado

Ya que el material ha sido previamente procesado en la máquina de moldeo, es posible que tenga un peso molecular ligeramente más bajo, lo que puede manifestarse en el proceso de moldeo como una viscosidad más baja del fundido, o un índice de fluidez bajo, lo que hace casi imposible el reprocesamiento del material..

El material reciclado al tener un bajo índice de fluidez es casi imposible trabajarlo a un 100 % en las producciones, por lo que es necesario usar cantidades constantes de molido en las producciones, trabajándolas conjuntamente con material virgen para que este ayude al material reciclado a fluir en la unidad de inyección.

2. ANÁLISIS DE MATERIALES

2.1 Análisis de polietilenos

2.1.1 Velocidad de inyección

La velocidad de inyección dependerá de los siguientes factores

- A) La viscosidad del polímero.
- B) Condiciones del molde.
- C) Tamaño y número de puntos de entrada de material.
- D) Tamaño de los canales o venas de alimentación del material.
- E) Salidas de aire en el molde.
- F) Temperatura de la masa fundida
- G) Temperatura del molde.

Acabado de la pieza

Cuando se moldean piezas de secciones delgadas se requieren generalmente velocidades de inyección altas con objeto de llenar la pieza antes de que se solidifique. El uso de una velocidad de inyección alta mejorará el aspecto y brillo superficial de la pieza, ya que la cavidad del molde se llena completamente antes de que la resina comience su solidificación, variando la velocidad de inyección adecuadamente se pueden reducir los defectos superficiales en la pieza, tales como las ráfagas y manchas en la zona del punto de inyección.

2.1.2 Estudio de productos alternativos, para aplicación de reciclado

El material reciclado en la empresa tiende a quedarse sin aplicación, hablando de polietileno ya que debido a su bajo índice de fluidez y bajo peso molecular queda sin aplicación y ocupando un espacio considerable en bodega y estanterías de material.

Para lograr aprovechar al máximo el material reciclado se realiza varias pruebas de aceptación de material reciclado en la fabricación de otros productos tales como, baños, vasos, juguetes, (barcos y carros en relieve).

Las pruebas en la fabricación de baños no son satisfactorias, debido a que el producto presenta los siguientes defectos:

- material obstruye la boquilla de dosificación
- Fluidez deficiente del material en el llenado del molde

Al no tener éxito en la prueba con el uso de material reciclado al 100%, se realizan pruebas con material reciclado mezclado con material virgen en porcentajes 70/30, 70 de material reciclado y 30 de material virgen. Las pruebas nuevamente son insatisfactorias, el material no es lo suficientemente pesado para fluir, y no llena el molde.

Al fracasar con estos intentos se prueba mezclar material polipropileno reciclado con polietileno, se logra con éxito el llenado del molde, pero éste sale con incrustaciones de trozos de polietileno en la pieza, mostrando baja resistencia al impacto.

En el afán de utilizar el material de polietileno reciclado, se realizan otras pruebas, para lo cual se utiliza el molde de un vaso, los resultados fueron los siguientes:

- Producto completamente terminado, fluidez del material satisfactoria.
- Resistencia al impacto, satisfactoria
- Olor, desagradable.

El vaso no es un buen producto alternativo para utilizar el material reciclado.

Al fracasar en cada uno de estos intentos, se decidió fabricar el molde para un barco de juguete, y realizar pruebas en material de polietileno, los resultados fueron los siguientes:

- Fluidez del material, satisfactoria
- Llenado completo del molde
- Resistencia del producto, satisfactoria

La prueba ha resultado todo un éxito, se ha encontrado un producto para utilizar el material de polietileno reciclado.

La búsqueda de productos alternativos para usar este material no termina, se sigue con el estudio, y las pruebas para poder hacer uso a un 100% de este material.

2.2 Análisis de polipropileno

2.2.1 Velocidad de Inyección

Al igual que para el polietileno la velocidad de inyección dependerá de los siguientes factores

- A) La viscosidad del polímero.
- B) Condiciones del molde.
- C) Tamaño y número de puntos de entrada de material.
- D) Tamaño de los canales o venas de alimentación del material.
- E) Salidas de aire en el molde.
- F) Temperatura de la masa fundida
- G) Temperatura del molde.
- H) Acabado de la pieza

2.2.2 Características optimas del material reciclado

El material reciclado para su rehúso debe estar libre de contaminación, esto es, que no debe contener otro tipo de material que no sea polipropileno, debe estar libre de grasa, aceite y cualquier suciedad.

El molino debe limpiarse por completo al cambiar material. No se debe utilizar material que presente marcas de quemaduras.

Ya que el material ha sido previamente procesado en la máquina de moldeo, es posible que tenga un peso molecular ligeramente más bajo. Esto puede manifestarse en el proceso de moldeo como viscosidad más baja del fundido. Como este efecto no siempre es

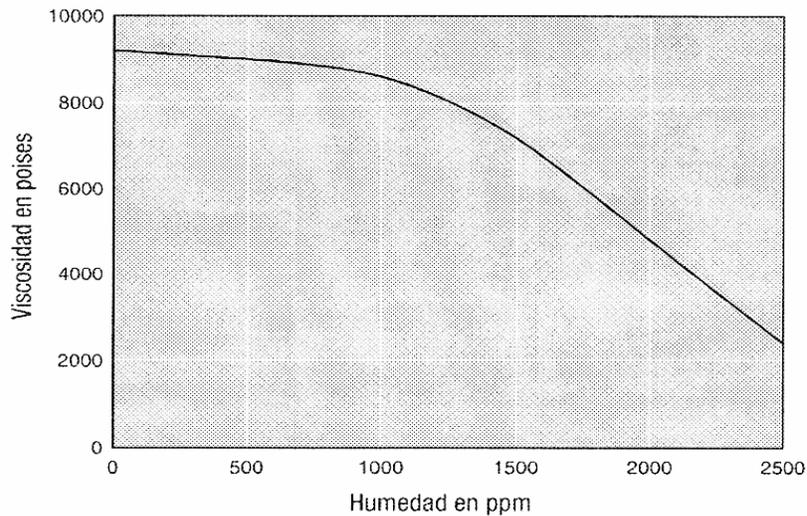
perceptible, es necesario ajustar las condiciones de moldeo para compensarlo. Usualmente es suficiente reducir en cantidad mínima la presión de la segunda etapa.

El potencial de reducción en la viscosidad del fundido es una razón importante por la que se debe usar cantidades constantes de molido. Si el nivel de molido varía con el tiempo, es posible que las variaciones en la viscosidad del fundido requieran numerosos ajustes en la máquina para mantener la pieza moldeada.

Si se permite que el molido, ya sea antes o después de moler, absorba humedad atmosférica y no seca correctamente, ocurrirá una reducción significativa y difícil de controlar en la viscosidad del fundido. El molido debe manejarse y secarse de la misma forma que la resina virgen. Las rebabas en las piezas, el escurrimiento en la boquilla o la producción excesiva de gas pueden ser señales de molido o resina húmedas.

El nivel de humedad en la resina durante el proceso de moldeo determina la viscosidad del fundido como se muestra en la figura 9, un mayor contenido de humedad produce una menor viscosidad del fundido debido a que el polímero pierde peso molecular.

Figura 9. El contenido de humedad afecta la viscosidad del fundido

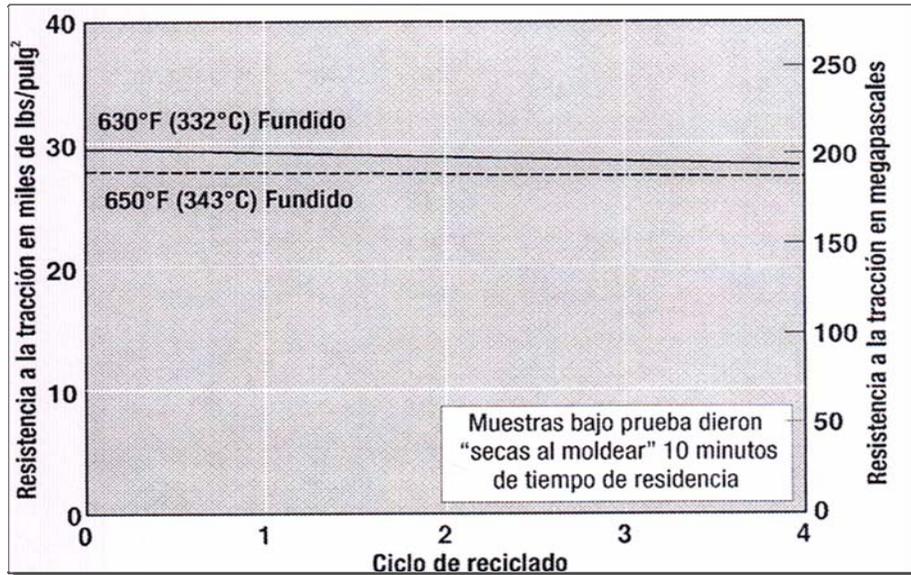


Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Adición continua de molido

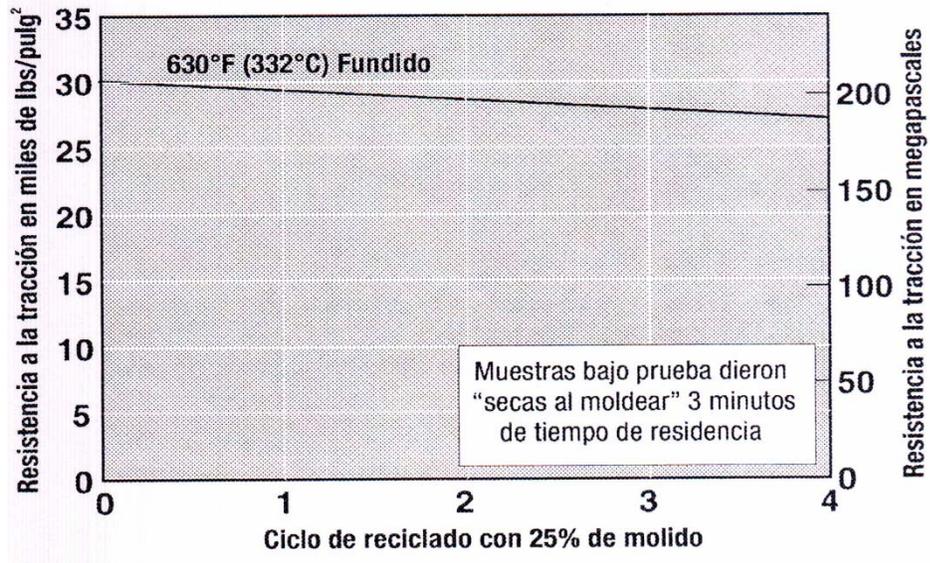
Algunos moldeadores consideran que el molido se debe descartar después de cierto número de pasadas por la máquina de moldeo, pero las pruebas realizadas han demostrado que el uso continuo del molido al 25% no tiene un efecto nefasto importante en las propiedades de la pieza, como se muestra en las figuras de la 10 a la 12.

Figura 10. Efecto del molido al 25% en la resistencia a la tracción



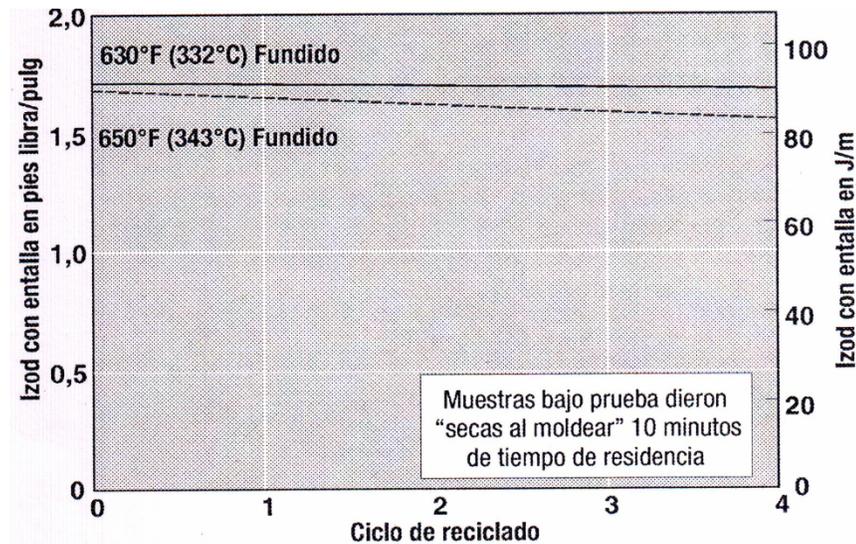
Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Figura 11. Efecto del molido al 25% en la resistencia a la tracción_2



Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

Figura 12. Efecto del molido al impacto, Izod.



Fuente: Enciclopedia Wikipedia, Enciclopedia libre

2.3 Selección de materiales y características de operación

Para la fabricación de los distintos productos se realiza una selección cuidadosa del material. Éste debe cumplir con los requerimientos necesarios para cumplir con las especificaciones del cliente.

Para proporcionar el material para las distintas producciones se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Características del producto a fabricar
- Si el producto se va a fabricar por inyección o soplado
- Cantidad de material reciclado que se puede utilizar, si es factible utilizarlo.

- Cantidad de piezas a fabricar y cantidad de material a utilizar para su fabricación, La forma de calcular la cantidad de material a utilizar para la producción es la siguiente:

Primero: Se toma una pieza del producto a fabricar y se pesa (Punidad)

Segundo: Se anota la cantidad de piezas a fabricar (Tunidades)

Tercero: Se multiplica el total de unidades a fabricar por el peso de la pieza

Cuarto: Como el peso de la pieza es gramos se divide el producto del peso por la cantidad de piezas a fabricar entre mil gramos que tiene un kilo, obteniendo así la cantidad en kilos de material a utilizar para la producción completa.

Simbólicamente tenemos

$$\text{Peso Total (Kg.)} = \frac{\text{Punidad (gramos)} \times \text{Tunidades}}{1000 \text{ gramos}}$$

Si la pieza a fabricar lleva colorante se multiplica el peso total por la concentración de color que lleva el producto. Esto se muestra con los siguientes ejemplos.

Colorante en polvo (Pigmento)

Para TAPA PSS:

Para una producción de 5,000 tapas color Charisma

$$\begin{aligned} \text{Peso total de material} &= \frac{\text{Punidad (gr.)} \times \text{Tunidades}}{1000 \text{ (gr.)}} = \frac{8.5 \text{ gr.} \times 5,000}{1,000 \text{ gr.}} \\ &= 42.50 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

Como el peso nos dio 42.5 aproximamos a 43 kg.

Concentración total = Peso total de material X concentración gramos/
Kg. de material

$$\text{Concentración total} = 43 \times 5 = 215 \text{ g}$$

Resumen. Se utilizaran 43 kilos de material y 215 de pigmento para la fabricación de las 5,000 tapas PSS color rojo Charisma.

Para utilizar Master Bach como colorante se utiliza el procedimiento anterior.

Colorante líquido

Tapa diámetro 35 estriada, color morado 2665C (Según carta de colores)

Para calcular la cantidad de material total a utilizar así como la concentración total de color se procede de igual forma que el ejemplo anterior.

Para trabajar con colorante líquido en su mayoría se debe realizar una mezcla de varios colores para llegar al color deseado por el cliente, para lograr esto se realizan varias pruebas, anotando la cantidad a utilizar del color a mezclar, cuando se logra el objetivo tenemos una mezcla de colores con distintas porciones de cada uno.

Para conocer la porción total de cada uno de los colores a mezclar para la producción, debemos sumar cada porción y el total de concentración a utilizar se divide dentro de ésta. Luego el cociente se multiplica por el valor de cada porción de color, proporcionándonos como resultado la cantidad total a mezclar de cada uno de los colores, para lograr el colorante para toda la producción.

Cálculo de porciones de color

Concentración total = 250 gr.

Componentes de color morado 2665C

Color	Código	Cantidad (gr.)
Blanco	3794221	22.0
Violeta	3392292	5.8
Azul	3557289	<u>1.0</u>
		28.8

Concentración total / Suma gramos de cada componente = $250 / 28.8 = 8.68$
aprox. 8.7

Cantidad a utilizar de cada color para la producción

Color	Cantidad (gr.)
Blanco	$22.0 \times 8.7 = 191.4$
Violeta	$5.8 \times 8.7 = 50.4$
Azul	$1.0 \times 8.7 = \underline{8.7}$
	250.5

De esta forma obtenemos las cantidades a mezclar de cada color para producir las piezas deseadas.

NOTA: Debe respetarse la cantidad a utilizar de cada color, ya que si varía en la más mínima cantidad, el color no será el deseado por lo que se deberá realizar una nueva mezcla.

- Tomar nota de si el material que se proporciona es para purgar la máquina o para realizar pruebas, si es así, llevar control de las mismas.
- A continuación se presenta un cuadro con algunos de los productos que se fabrican en TECNOPACK, S.A., así como el material que se utiliza en su fabricación.

Tabla IV. Material utilizado en la fabricación de algunos productos.

P E	HMA047	POLYTHYLENE	HI 2053	TARROS V.F Y TAPAS AEROSOL
P P	10R10C	POLIPROPILENO		TARROS, TAPAS FLIP TOP
P P	20H10N	POLIPROPILENO	11H01A	TAPAS
P P	PC 912	POLIPROPILENO	PHM-12	TAPAS PSS Y TAPA SPRAY CHARISMA
P P	30R40C	POLIPROPILENO		COLADOR Y TAPA

2.3.1 Productos alternativos

Con pretensión de poder utilizar el material reciclado en un 100% se buscan productos alternativos, productos que nos permitan utilizar el material reciclado y que sean fructuosos para la empresa.

Para lograr esto se llevan a cabo varias pruebas, primero en producto popular, recipientes para basura, baños, coladores y palanganas. Las pruebas en material polipropileno fueron un éxito, el producto adquirido con este material contaba con buena resistencia al impacto.

En las pruebas realizadas con material polietileno no se tuvo éxito por lo que se realizaron varias pruebas en la búsqueda de productos que nos permitieran utilizar material molido en porcentajes mayores al 70%, sin alterar enormemente las características de aplicación.

Los productos que mostraron aceptación de material reciclado, mostrando características satisfactorias son:

- Barco de juguete (material: polietileno)
- Vaso negro (material: polipropileno)
- Pelota (material: polietileno)
- Carrito de juguete (material: polietileno)

Aunque estos productos mostraron satisfacción en la utilización de material reciclado en porcentajes arriba del 60% aun se sigue en la búsqueda de productos que nos permitan utilizar el polietileno en un porcentaje mayor al 90%.

2.3.2 Velocidades optimas de inyección

Las velocidades óptimas de inyección se obtienen cuando se cuenta con relaciones bajas de peso potencia lo que hace posible alcanzar altas velocidades de inyección de material.

A continuación se dan algunos ejemplos de las velocidades trabajadas para algunos productos en TECNOPACK, S.A. así como la fluidez, y el material con el cual es elaborado.

PRODUCTO	MATERIAL	VELOCIDAD (iny/min.)	FLUIDEZ (gr./10min.)
Tapa Cornina 60gr. y 120 gr.	PP (11H)	156	0.11
Clip magnolia	PP (11H)	124	0.11
Clip para corbata	PP (11H)	276	0.11
Tapa PSS	PP (PHM-12)	144	0.12
Tarro 10oz.	PP (10R10C)	240	0.10
Tarro 8oz	PP (10R10C)	138	0.10
Tarro Vital Fuerte	PE (HI2053)	211	0.12

La velocidad óptima se adquiere cuando la presión de inyección, y factores que influyen en esta (viscosidad, longitud _ flujo, caudal), así como la temperatura, se mantienen dentro de los rangos específicos, y las salidas de aire en el molde libre de contaminantes. Ejemplo de esto se muestra en la tabla siguiente:

Tabla VII. Rangos específicos de algunos parámetros de operación

temperatura plástico °C	temperatura panel del molde °C	presión de Inyección (Mpa)
215	50	48.5
205	40	57.2
215	40	57.2
225	40	41.2
215	30	54.8

Si estos rangos se mantienen las velocidades de operación serán uniformes en cada producción, que se lleve cabo con un mismo material. Esto quiere decir que es muy importante mantener un estricto control en los parámetros involucrados en el proceso de inyección.

2.3.3 Tolerancias en características del grano

Para permitir un buen mezclado del molido y la resina virgen, el tamaño del grano del molido debe acercarse lo más posible al tamaño del grano de resina virgen. Si el grano de molido es demasiado grande no pasará por la tolva. El polvo del molido tiende a pegarse en los lados de la tolva y se requiere mucho mantenimiento de los filtros del cargador al vacío.

Un método para controlar el tamaño de partícula es usar una unidad vibradora con criba doble, en la que la criba superior sea de malla 4 y la inferior de malla 40. Las partículas que no pasen por la malla 4 se reciclan al molino. Las partículas finas que pasan por la malla 40 se descartan y el material que permanece entre las dos Cribas es el adecuado para trabajar

2.4 Instrumentación

2.4.1 Instrumentos de medición

Los instrumentos de medición utilizados en la fabricación de productos plásticos son:

Manómetros de presión.

Son instrumentos utilizados para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local.

Controladores de Temperatura: controlan los cambios de temperatura que se dan en las distintas zonas de operación de la máquina donde es requerido. Los controladores de temperatura al detectar una elevación o baja excesiva de la temperatura, activan una alarma y bloquea el paso de material.

Básculas: estas son utilizadas para pesar tanto el material a utilizar para cada producción así como para pesar los colorantes a utilizar en las mismas.

Pesas digitales: utilizadas para pesar las distintas piezas, y luego con este dato calcular el peso total de material a utilizar en cada producción.

Vernier. Utilizado para medir la profundidad de los tubos que se fabricaban, así como para medir el espesor de las paredes del producto en producción.

2.4.2 Panel de control

En el panel de control contiene controladores para las resistencias eléctricas del barril y de la boquilla. Permite programar la secuencia del ciclo de inyección y recibe señales de alarma, por sobre presión o finales de carrera, para detener el ciclo. Los controladores nos permiten el control de temperatura debido a su velocidad de respuesta para mantener la temperatura a los niveles requeridos.

A continuación se da una lista de los parámetros a controlar en el panel, así como rangos a los que se deben trabajar las distintas zonas de la máquina.

La unidad de inyección se divide en cuatro zonas, en las cuales se cuenta con un valor de temperatura distinto uno del otro, siendo éstas.

Zona 1. Entrada del material a la unidad de inyección 210 °C

Zona 2. Barril de inyección 220°C

Zona 3. Resistencias alrededor del barril 225°C

Zona 4. Boquilla de dosificación 250°C

Enfriamiento

Conexión de agua

Lado de inyección 35 ° C

Lado de expulsión 33° C

Unidad de potencia. Suministra la potencia necesaria para el funcionamiento de la unidad de inyección y de la unidad de cierre.

- Tiempo de inyección que oscila entre 0 y 8 seg.
- Tiempo de enfriamiento 0.2 y 15 seg.
- Dosificación 40 mm
- Cambio de presión
- Velocidad de inyección, esta va a variar según el volumen de fluido, y se indica como velocidad alta, media o baja.

Ajustes en la unidad de inyección

Expulsor

Posición

Tiempo de expulsor adelante 1.2 seg.

Tiempo de expulsor atrás 9 seg.

Presión de inyección 35 Kg. /

Molde

Para cerrar el molde se utiliza alta velocidad y baja presión, luego se mantiene la baja presión y se disminuye la velocidad hasta que las dos partes del molde hacen contacto. Las carreras de apertura y del expulsor son las siguientes:

Carrera de apertura 200 mm

Carrera del expulsor 290 mm.

En el panel de control se controla cada una de las variables antes mencionadas, llevando un estricto control de los parámetros requeridos para cada material a trabajar.

Es muy importante realizar inspecciones periódicas del mismo, para evitar variaciones en los distintos parámetros que puedan afectar la producción o la calidad del producto.

CONCLUSIONES

- 1 Con un control de manufactura en la producción de productos plásticos se mantiene el régimen de operación de las máquinas, detectando posibles desviaciones en las características fijadas para el producto final. Testificando así su correspondencia con lo especificado en la orden de trabajo y atenuando la cantidad de producto defectuoso.
- 2 El suministro de materias primas debe quedar asegurado en tiempo y forma preparando las mezclas de material, de acuerdo con la formulación dada, utilizando las unidades de medida y los aparatos apropiados. El porcentaje de material reciclado que se incorpore a la mezcla es el establecido de forma general por las pruebas realizadas.
- 3 La comprobación mediante observación directa o ensayos de rutina de los parámetros fundamentales de las mezclas ayudan a controlar, acondicionar, expedir y almacenar los materiales termoplásticos, sean estos vírgenes o reciclados.
- 4 La recuperación del material de desecho fruto de producciones defectuosas, y purgas de máquinas, debe realizarse según su composición, color y otras características, para su reincorporación al proceso. El color de los desechos se tiene en cuenta al momento de formar la mezcla, ajustando los colorantes de acuerdo al color final del producto.

RECOMENDACIONES

Como sugerencias generales y específicas se proponen las siguientes:

Al gerente de producción

- 1 Diseñar planes de producción intermitentes, con el fin de llevar un mejor control en cada producción, y evitar con ello el incremento de material de desecho, consecuencia de purgas excesivas de la máquina.
- 2 Crear un control en el proceso de transformación de los diferentes materiales termoplásticos, identificando los parámetros de calidad, así como los instrumentos y dispositivos más empleados durante el proceso, alcanzando la reducción de material de desecho en cada máquina.
- 3 Proporcionar al departamento de pigmentos la instrumentación, herramienta y equipo adecuados para realizar las mediciones de peso correctas de material, evitando de esta manera piltrafa de material por mala calibración de la máquina o por desperfecto de la misma.

Al jefe del departamento de pigmentos y cargas

- 4 Realizar un acopio de materiales para su almacenamiento, identificando con etiquetas, la materia prima, clasificando el material según sus características y área de proceso. Frenando de esta forma la contaminación del material, por mezclas con materiales de diferentes características de producción.

- 5 Que las mezclas de material se realicen en un tiempo no menor a diez minutos, con el recipiente vacío a un 25 % de su capacidad de carga, para lograr uniformidad en el mismo. Utilizando este porcentaje, se obtiene una distribución uniforme del colorante, evitando así variación de color en el producto, y reduciendo el material de desecho. Este procedimiento aplica a mezclas de material virgen y reciclado.

Al departamento de recursos humanos

- 6 Implementar un curso de capacitación para los operarios de máquina, en el cual se les indique las características y especificaciones que debe tener el producto final, con el fin de disminuir el producto defectuoso, por causa de un mal manejo y/o selección del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Carlos Gilberto León Escriba. Pigmentación de termoplásticos, (Trabajo de graduación, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala), Guatemala, 1999. pp. 17,24-33
2. César Augusto, Valencia Mejía. Formulación de un agente desmoldante p/altas temperaturas de operación en el proceso de producción de piezas de polietileno, polipropileno y poliuretano, con parámetros de temperatura, tiempo de secado, concentración y número de desmoldadas. (Trabajo de graduación, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala), Guatemala, 1990. pp. 32-45.
3. Henry Gálvez Hernández. Digitalización de un proceso de manufactura en una fábrica de plásticos, ((Trabajo de graduación, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala), Guatemala, 1995. pp. 27-29.

Referencia electrónica

4. http://www.geocities.com/injectoras_de_plastico/injectoras_de_plastico.htm, enero 16-2007
5. <http://www.mailxmail.com/curso/vida/inyecciondeplasticos/capitulo5.htm>, diciembre 13-2006
6. <http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo>, enero 16-2007
7. <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos>, enero 16-2007
8. http://www.bilboaexhibitioncente.com/feria_web/castellano/certamen05, enero 17-2007
9. <http://www.geoplastics.com/resins/es/techsolution/glossary/t1.html>, enero 22-2007

APÉNDICE I

SOLUCIÓN DE PROBLEMAS MÁS COMUNES EN EL MOLDEO POR INYECCIÓN

Para resolver los problemas que a menudo se nos presenta en el moldeo por inyección lo recomendable es mantener la mayor cantidad de variables fijas

Las piezas de plástico moldeadas se fabrican de acuerdo a especificaciones. A veces, la aplicación no precisa muchas restricciones, la pieza puede salir manchada, con líneas de flujo y hasta con huecos y ser aceptada. Pero una pieza de calidad, puede exigir medidas dimensionales muy precisas, coloración exacta, acabado superficial especificado y resistencia a un sin fin de ensayos físicos y químicos.

. Se puede decir que los aspectos analizar son: máquina, material, molde, medio ambiente y mano de obra.

Para solucionar algún problema relacionado con la máquina, el molde o la materia prima es necesario conocer el proceso, los ciclos que intervienen en éste y sus variables.

El ciclo de moldeo puede ser descrito con claridad si ponemos atención en lo que sucede al polímero.

Cierre del molde.

Se inyecta el polímero fundido y se compacta

Comienza el enfriamiento de la parte inyectada, la máquina inicia el recargado de material para su posterior inyección.

Finalizando el tiempo de enfriamiento, inicia la apertura del molde

Expulsión de la pieza.

Variables del proceso.

Variables de la máquina

Variables del molde

Variables de la materia prima

Variables del equipo periférico (secadoras, molinos, climas etc.)

Variables del acabado y manejo de las piezas moldeadas.

Las primeras cuatro variables involucran tiempos, presiones, temperaturas y velocidades, los cuales son parámetros que se pueden modificar para corregir defectos en nuestro producto. La última variable de la lista anterior, posiblemente la más voluble de las cinco, es en algunas ocasiones difícil de fijar, debido a que interviene el factor humano.

Pero veamos algunos de los problemas más comunes y sus soluciones en el proceso de moldeo por inyección.

En negrita figura el problema, con un guión el posible motivo para ese problema, y posteriormente la solución o soluciones.

· **Dificultad de extracción de la pieza del molde.**

- Piezas demasiado frías.

Verificar la temperatura del molde

- Excesivo empaquetamiento del material.

Disminuir la presión de empaquetamiento

- Defectos en el molde (acabado, diseño).

Posible recubrimiento superficial al molde. Rectificar la superficie del molde.

Cambiar molde en última instancia.

- Material inadecuado.

Cambiar a uno de menor fluidez.

· **Acabado superficial deficiente en la pieza.**

- Resina entra fría al molde.

Verificar perfil de temperaturas para el material

Verificar temperatura de la boquilla.

Verificar temperatura del molde.

- Llenado del molde muy lento

Aumentar perfil de temperaturas para el material.

Aumentar temperatura de la boquilla.

Aumentar temperatura del molde.

Aumentar presión de inyección

- Defectos en el molde (acabado, diseño).

Posible recubrimiento superficial al molde.

Rectificar la superficie del molde.

Verificar que la configuración de los corredores y entradas sea la idónea para la pieza.

· **Coloración deficiente en la pieza.**

- Colorante inadecuado.

Cambiar el tipo de colorante o la concentración.

- Mala distribución en el premezclado.

Aumentar la contrapresión en la recarga de material

- Tornillo inadecuado.

Ver la posibilidad de cambiar la configuración del tornillo.

Cambio de tornillo

· **Burbujas internas en la pieza**

- Plástico en el molde insuficiente para impedir una contracción producida por bordes, nervios.

Aumentar la alimentación.

Aumentar el tamaño de la entrada.

Aumentar presión de inyección.

- Humedad en el material

Secado adecuado del material antes de su procesamiento.

Verificar el equipo periférico de secado y transporte a la tolva de alimentación.

- Temperatura desigual en el molde.

Verificar los canales de alimentación para el enfriamiento del molde, que no se encuentren obstruidos.

· **Ruptura o pieza con grietas**

- Molde frío.
Eleva la temperatura del molde.
- Diseño o impresiones del molde inadecuados
Posible recubrimiento superficial al molde.
Rectificar la superficie del molde.
Cambiar molde en última instancia.
- Excesivo empaquetamiento del material.
Verificar la presión de empaquetamiento

· **Rebaba**

- Alimentación excesiva.
Reducir la alimentación
- Presión elevada
Disminuir la presión
- Material sobrecalentado.
Verificar el perfil de temperaturas del material.
Disminuir la temperatura del molde.
- Molde desajustado.
Verificar la calibración del molde para su cierre.
- Baja fuerza de cierre.
Aumentar la presión de cierre.
Verificar si la máquina es la adecuada para la presión necesaria por la pieza a inyectar.

· Líneas de flujo

- Molde muy frío.

Elevar la temperatura del molde.

Verificar los canales de alimentación para el enfriamiento del molde, que no se encuentren obstruidos.

- Baja presión de inyección.

Incrementar presión de inyección.

- Canales obstruidos.

Limpieza de los canales

Verificar si el diseño es el adecuado.

- Entrada o boquilla inadecuada muy estrecha.

Rectificar la boquilla.

Cambiar la boquilla.

Disminuir la velocidad de inyección.

- Dosificación insuficiente.

Aumentar la dosificación.

- Baja temperatura de fundido

Aumentar la temperatura.

· Piezas incompletas

- Insuficiente carga del material.

Aumentar la cantidad de material.

Aumentar la presión de inyección.

- Temperaturas no uniformes en el molde.

Verificar y limpiar sistema de refrigeración del molde.

- Diseño deficiente del molde.

Corrección de entradas y corredores.

Cambio de molde.

- Sistema de venteo en el molde obstruido.

Limpieza de los sistemas de venteo.

· **Líneas de soldadura.**

- Plástico demasiado frío.

Aumentar temperatura del molde y barril.

Aumentar presión de inyección.

- Variación en el espesor de las piezas.

Rediseño de la pieza.

Rediseño de la entrada de material a la pieza.

- Molde demasiado frío.

Aumentar temperatura del molde

- Presión insuficiente.

Aumentar la presión de inyección.

- Baja velocidad de inyección.

Aumentar velocidad de inyección.

- Sistemas de venteo inadecuados.

Limpieza de los sistemas de venteo.

Rediseño de los sistemas de venteo.

· **Alabeo, pandeo, torcido.**

- Material inadecuado.

Cambiar a un material de mayor fluidez.

- Diseño deficiente del molde.

Cambiar el lugar de la entrada.

Mejorar el pulido del molde.

Temperaturas de procesamiento inadecuadas.

Aumentar la temperatura de la resina.

Aumentar el tiempo de enfriamiento.

· **No hay carga de material.**

- Garganta de la tolva obstruida.

Limpiar la garganta de tolva

- Perfil de temperaturas inadecuado

Verificar que el perfil de temperaturas sea el adecuado.

- Tornillo desgastado

Cambio de tornillo.

Estos son algunos de los defectos, que con mayor frecuencia ocurren en el proceso de moldeo por inyección, aunque varían de proceso en proceso y de material en material. En realidad, si se ponen en juego todas las variables presentes sería un desorden difícil de ordenar. Lo recomendable es mantener la mayor cantidad de variables fijas y trabajar sobre una en específica hasta remediar el defecto.

APÉNDICE II

CODIFICACIÓN DE PLÁSTICOS

Existe una gran variedad de plásticos y para clasificarlos existe un sistema de codificación que se muestra en la Tabla VIII. Los productos llevan una marca que consiste en el símbolo internacional de reciclado  con el código correspondiente en medio según el material específico.

Tabla VIII. Codificación de plásticos

Número	Abreviatura	Nombre químico
1	PET, PETE	Polietileno tereftalato
2	HDPE	Polietileno de alta densidad
3	PVC	Cloruro de polivinilo
4	LDPE	Polietileno de baja densidad
5	PP	Polipropileno
6	PS	Poliestireno
7	otro	