

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. PROCESO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS

El consumo de plásticos en el mundo se estima que en la actualidad es al menos 170 millones de toneladas¹, de los cuales casi el 78% corresponde a termoplásticos y el restante 22% a termofijos. Se considera que el 36% en peso se procesa mediante extrusión, 32% moldeo por inyección, 10% moldeo por soplado, 6% calandrado, 5% revestimiento, 3% moldeo por compresión y 8% otros.

La extrusión de plásticos es un proceso industrial de moldeo mediante el cual es posible obtener productos acabados o semi-acabados, de sección transversal uniforme en un régimen continuo, además ofrece las ventajas de técnicas de procesamiento completas y versátiles, incomparable en importancia económica con cualquier otro proceso.

2.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS

En éste proceso, una resina es fundida por la acción de temperatura y fricción, la cual es forzada a pasar por un dado encargado de proporcionarle una forma pre definida para luego ser enfriada con el propósito de evitar deformaciones permanentes.

Combinaciones de varias resinas pueden ser usadas para obtener propiedades especiales sean físicas, biológicas o químicas. Algunas veces los plásticos son difíciles de moldear sin añadir aditivos comúnmente llamados plastificantes,

¹ <http://www.conicyt.cl/revista/2005/mayo/html/industriadelplastico.html>

muchos de estos aditivos pueden ser usados durante el proceso para mejorar las características del procesamiento del polímero o para alterar las propiedades del producto. Tales aditivos incluyen lubricantes, estabilizadores térmicos, antioxidantes y colorantes.

Las técnicas de extrusión pueden ser usadas para procesar la mayoría de termoplásticos y algunos plásticos termofijos. Las resinas más comúnmente extruidas incluyen polietileno, polipropileno, poliuretano, poliestireno, fluoropolímeros, poliamida, poliéster y cloruro de polivinilo flexible. Los plásticos extruidos muchas veces tienen en la fusión una viscosidad mayor, la cual permite conservar la forma dada por la matriz mientras el producto extruido se encuentra en las etapas de enfriamiento.

Al hablar de extrusión es necesario mencionar a la maquinaria asociada al proceso. Básicamente una máquina extrusora posee un tornillo metálico impulsado por un reductor de velocidad que a su vez está conectado a un motor eléctrico, que se encuentra situado dentro de un cilindro metálico revestido con una camisa que tiene instalada varias resistencias eléctricas. En un extremo del cilindro se encuentra una tolva para alimentar de la materia prima que ingresa en forma de pellets o gránulos, en la punta del tornillo se ubica la salida del material y el dado que le da la forma final al plástico; posteriormente es necesario enfriarlo rápidamente puesto que el material caliente podría perder dicha forma.

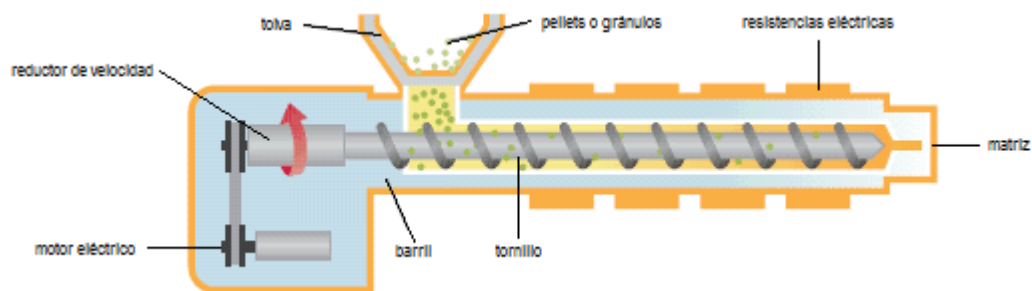


Fig. 2.1 Máquina extrusora

A nivel mundial, las líneas extrusoras son las más largas transformadoras de plásticos y pueden ser consideradas como la maquinaria de producción más importante en la industria del plástico. Comercialmente, la extrusión apunta a dar ventajas con respecto al costo de operación (salida por hora). Las dos principales razones que las hacen atractivas para los procesadores y mercados de plásticos son su extenso rango de aplicaciones y su capacidad de producción continua para enfrentar los desafíos del mercado. También hay un mercado amplio de materiales plásticos compuestos.

Ventajas

- Secciones transversales complejas.
- Producción a corto plazo.
- Alta productividad.
- Gran amplitud de tolerancias dimensionales.
- Operación continua.
- Bajo costo de maquinaria y de partes en relación a otros procesos.
- Posibilidad de combinación de colores.

Limitaciones

- Las piezas a obtener son de sección transversal constante.
- La mayoría de productos requieren procesos posteriores de acabado.

Principales aplicaciones

- Tubería
- Mangueras
- Revestimiento de alambre para uso eléctrico y telefónico
- Filamentos para alfombras

- Barras
- Perfilería en general
- Películas y láminas plásticas
- Cinta adhesiva
- Mezclado de todas las clases de plásticos
- Producción de pellets o gránulos

2.1.2. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS

Existen muchos tipos diferentes de extrusoras que han sido diseñadas -algunas patentadas- hace más de un siglo para producir la amplia variedad de plásticos y productos de éste. La acción entre los tornillos y barriles básicamente provee una acción de corte (por calentamiento) del plástico. Las extrusoras pueden ser clasificadas como:

- Continuas de tornillo simple (de una y multi-etapas)
- Continuas de multi-tornillos (tornillo doble)
- Continuas de disco o tambor, que usa la resistencia viscosa para su fusión (disco, tambor) o fusión elástica (sin tornillo)
- Discontinuas, que usan ejes de alimentación manual (termoplásticos, termofijos, plásticos reforzados, gomas y elastómeros de muy baja viscosidad) y de procedimientos recíprocos (moldeo por inyección)

Las extrusoras ampliamente usadas son las de tornillo simple y de tornillo doble. A su vez, cada tipo de extrusora tiene diseños diferentes para adaptarse a los requerimientos específicos de fabricación basados en enfoques técnicos y prácticos.



Fig. 2.2 Extrusora de tornillo doble

La mayoría de éstas extrusoras tienen una zona de plastificación (tornillo/barril) en posición horizontal. Para alcanzar ciertos requerimientos de producción y costos, existen muy pocos diseños posicionados verticalmente.



Fig. 2.3 Extrusora vertical

Las usuales y más populares extrusoras de tornillo simple usan diseños convencionales con diámetros uniformes del tornillo y del barril, además de poseer un volumen decreciente del canal del tornillo, velocidad variable y continua, control de presión, y sistemas de venteo (desvolatización). Diseños especiales usan tornillos cónicos o parabólicos para mezclas especiales y obtener una homogeneidad de dicha mezcla.



Fig. 2.4 Máquina extrusora del Laboratorio de Mecánica de Materiales del DECEM

Para todos los tipos de extrusoras que apuntan a entregar un producto con una fusión de alta calidad al final del tornillo, la plastificación o proceso de fusión debe ser completada previo a alcanzar el final de los tornillos.

Existen extrusoras que no usan tornillos, principalmente para investigación y desarrollo de varios diseños; como los que usan tambores rotativos, placas/discos de orificios o intercaladas, y/o rotores cónicos con barriles excéntricos. Estos pueden tener espacios de variación gradual entre el barril y el rotor o las placas utilizadas para plastificar (fundir) el termoplástico por calentamiento, efecto de la fricción. Diseños para incrementar su tasa de salida incluye la utilización de un tornillo extendido desde el centro del rotor para transferir la fusión a través de un dado con orificios. Diferentes diseños de este sistema isotérmico están dirigidos a reducir el consumo de energía de procesamiento, mejorar propiedades, reducir tiempos de residencia, entre otros.

Debido a los diferentes productos así como los plásticos procesados, no se puede establecer una tasa de salida específica (un parámetro muy importante del proceso) para una máquina a menos que una línea de extrusión dedicado sea usada para un producto que emplea un plástico específico y los parámetros sean provistos con anterioridad. Las consideraciones respecto a la tasa óptima de salida de las máquinas dependen de las características de la extrusora y del tipo de plástico a ser procesado. Las extrusoras disponibles tienen un amplio rango de desempeño o capacidades técnicas que a su vez asocian el costo de la maquinaria.

Para la selección de una máquina extrusora y su mecanismo motriz, las consideraciones a ser evaluadas incluyen:

- El rango de velocidad vs velocidad requerida del tornillo
- Los requerimientos de velocidad que debería ser infinitamente variable, y podría requerir ciertos niveles o amplios rangos de velocidad.
- Potencia máxima requerida en base al plástico a ser procesado.
- Relaciones requeridas entre la velocidad del tornillo y el torque en el eje de este.
- Si la máquina va a ser utilizada para un único o múltiples productos.

Los sistemas motrices consisten de un motor y bandas, los cuales están unidos a los tornillos a través de sistemas como cajas reductoras de doble etapa. Bandas y poleas son usadas para la maquinaria más pequeña. Los sistemas motrices simplifican la transformación de altas velocidades del motor en velocidades más bajas y torques altos requeridos para operar y controlar los tornillos.

Debido a que las extrusoras generalmente no emplean 100% herramientas metálicas, las tolerancias usualmente son más bajas que otros procesos de moldeo. Mientras que con herramientas especializadas se puede alcanzar

tolerancias más altas, por lo general se podría decir que las tolerancias a continuación son las que se debería esperar:

- Espesor de pared: $\pm.005''$
- Longitud de corte: $\pm.062''$ o mas
- Ancho o altura: $\pm.010''$ por pulgada de ancho/alto
- Planitud: $.045''$ de inclinación por pie

2.1.3. DEFECTOS GENERADOS EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Los productos de plástico extruido se fabrican de acuerdo a varias especificaciones, y en ocasiones las aplicaciones no precisan de restricciones; por lo que tales productos pueden ser aceptados inclusive si presentan defectos como manchas, líneas de flujo, agujeros, etc. Pero si se trata de elementos de buena calidad deben presentar ciertos requerimientos como medidas dimensionales muy precisas, un específico acabado superficial, y especialmente buenas propiedades químicas, físicas y mecánicas.

La propiedad asociada a la mayoría de defectos que se presentan en los procesos de extrusión es la viscosidad ya que es un factor importante en el procesamiento de plásticos, puesto que la gran parte de los métodos de moldeado involucran el flujo de plásticos fundidos a través de los dados, pequeños canales, entre otros. Tanto la velocidad de corte como la temperatura afectan la viscosidad de un plástico fundido. En cualquier deformación que ocurre están presentes concentraciones de esfuerzos locales como el caso de esfuerzos cortantes, que se incrementan con la velocidad de corte; lo que representa la necesidad de alcanzar presiones significativas para realizar los procesos de moldeado.

Cuando la viscosidad decrece con el aumento del esfuerzo, cualquier concentración de esfuerzos causará fallas catastróficas del plástico. La

viscosidad del plástico varía inversamente con su temperatura, asumiendo que se mantiene constante el esfuerzo cortante. Esto hace referencia a la viscosidad Newtoniana, en cual caso la viscosidad es constante. En un comportamiento no Newtoniano (fusión del plástico), la viscosidad varía. Tal viscosidad es a menudo llamada **viscosidad aparente** a las correspondientes velocidades de corte.

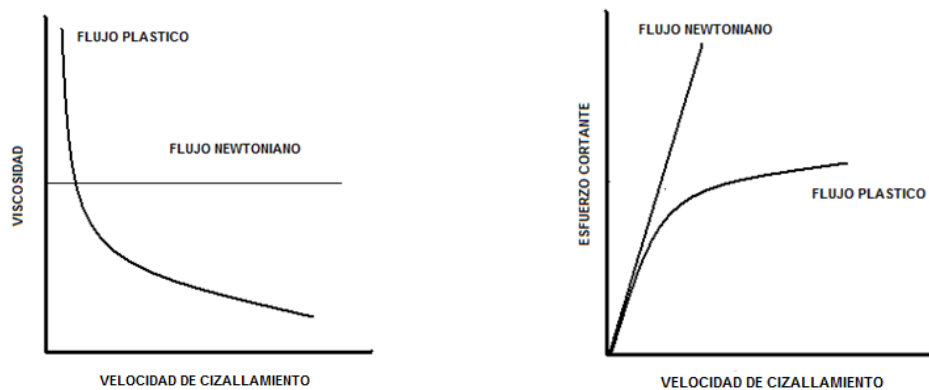


Fig. 2.5 Comportamiento de la viscosidad de los plásticos y otros materiales

Desafortunadamente, defectos indeseables en el flujo fundido aparecen durante la extrusión, como un ejemplo, la fractura de fusión que se produce cuando el flujo de cualquier material fundido atraviesa un dado estando en una condición inestable de flujo. En vez de un flujo laminar constante dentro y fuera del dado, el flujo se distorsiona; esto aparece en el material como una superficie rugosa.

Los principales problemas que por lo general se presentan se describen a continuación:

Problemas de plastificación

Estos defectos son fácilmente identificables, y solo existe dos oportunidades para que suceda: cuando el material no se ha fundido eficientemente, lo cual provoca la fractura del producto fundido; o el otro caso, la degradación del material que se manifiesta con aparición de puntos negros, agujeros y en ocasiones se presenta humo.

Tales defectos tienen lugar en la zona de plastificación, que depende de la velocidad de extrusión más que del perfil de temperaturas, aunque también influye.

Problemas de mezclado y contaminación

Si no se posee un material homogéneo y que sea compatible con todos sus componentes, no será posible obtener una extrusión eficiente. A menudo, por falta de conocimiento se abusa de la utilización de cargas de aditivos, pigmentos, re-granulado o reciclado. Los defectos son fácilmente detectables, ya que están relacionados con la función de deberían cumplir los aditivos, un claro ejemplo es las bajas propiedades mecánicas obtenidas del material extruido.

El re-granulado o material reciclado frecuentemente provoca carbonización y fractura del plástico debido a la alta heterogeneidad molecular del plástico.

Problemas de desgaste

Se presenta debido al constante uso de la maquinaria o parte de ésta, por lo general el husillo/barril se desgasta por excesos de cargas abrasivas y malas condiciones de operación. Si existe desgaste del equipo, sus partes no

empujarán el material con la misma fuerza y en ese punto no se desarrollará una presión constante, por lo que partes del producto presentará diferente viscosidad, lo que significa que su velocidad de flujo no será uniforme y constante.

Problemas de flujo

Un defecto muy comúnmente presente en los procesos de extrusión de plásticos es el llamado **sharkskin** (*piel de tiburón*). Durante el paso del flujo a través del dado, el material fundido cerca a éste tiende a no moverse, mientras que en el centro fluye rápidamente. Cuando el material abandona el dado, su perfil de flujo cambia abruptamente a una velocidad uniforme. Éste cambio requiere de una rápida aceleración de la capa superficial, resultando un alto esfuerzo local.

Si éste esfuerzo excede un valor crítico, la superficie se quiebra, lo que da la apariencia rugosa y de ahí la comparación con la piel de tiburón. La peor condición ocurre en plásticos con viscosidad alta, ó en plásticos de alto peso molecular con limitada distribución de dicho peso molecular a bajas temperaturas y altas velocidades de extrusión. Una forma efectiva de reducir la *piel de tiburón* es añadir un elemento calefactor en el reborde del dado, lo que reducirá localmente la viscosidad.

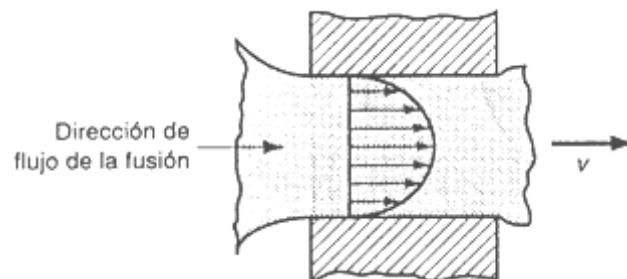


Fig. 2.6 Perfil de velocidad del material fundido al atravesar el dado de extrusión

Problemas generados por temperatura

La transición de temperatura ambiente a una alta temperatura de procesamiento puede reducir la densidad del plástico hasta en un 25%. Por otro lado el enfriamiento provoca contracción del material, de más del 3%; y puede causar distorsiones superficiales ó vaciamiento con tensiones internas debido al frío. Ésta condición puede ser eliminada o reducida minimizando las temperaturas elevadas y velocidades de enfriamiento.

Durante la etapa inicial de enfriamiento, la capa superficial se enfría tan rápido que la diferencia de temperatura entre dicha capa y el núcleo alcanza un valor máximo. Entonces el núcleo se enfría más rápido que la capa superficial hasta que se obtenga una temperatura uniforme. En el inicio de la etapa de enfriamiento, la contracción de la capa superficial es más grande que la contracción del núcleo. Ésta acción introduce esfuerzos de tensión en la superficie y esfuerzos de compresión en el núcleo. Más tarde el núcleo se contrae más que la superficie, llegando a producirse esfuerzos de tensión en el núcleo y esfuerzos de compresión en la superficie.

Se sabe muy bien que la presencia de esfuerzos residuales afecta en gran medida las propiedades mecánicas y las características de rendimiento de los productos. Es de gran importancia para el diseño de productos comprender los factores gobernantes así como ser capaz de medir y predecir el desarrollo de esfuerzos residuales durante el proceso.

2.1.4. MÁQUINA EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE

2.1.4.1. Características principales

Un componente muy elemental de cualquier extrusora es el plastificador con su tornillo y barril, donde resaltan las tres zonas de procesamiento del tornillo:

alimentación, transición (o compresión), y fusión. En la extrusión de plásticos, si no se usa el diseño adecuado del tornillo, los productos pueden no alcanzar los requerimientos de desempeño y costos. El eje de acero del tornillo tiene álabes helicoidales los cuales rotan dentro del barril para procesar mecánicamente y movilizar el plástico. Existen tornillos para uso dedicado y para propósito en general, el tipo de tornillo a utilizar depende del material plástico a ser procesado.

Las características a analizar en la máquina extrusora, son:

Espacio entre el tornillo y barril

Un factor esencial en la extrusión de plásticos es la interacción entre los álabes giratorios y la pared fija del barril. El espacio entre el tornillo y el barril es a menudo extremadamente pequeño y varía dependiendo del tamaño del tornillo como se describe en la tabla 2.1, si el plástico es para ser mezclado y transportado, la fricción debe ser baja en la superficie del tornillo pero alta en la pared del barril. Si éste criterio no es tomado en cuenta, el material podría rotar con el tornillo sin moverse en lo absoluto en la dirección axial y salir a través del dado.

Tabla 2.1 Espacios típicos entre el tornillo y barril en función del tamaño del tornillo

Tamaño del tornillo mm (pulg.)	Espacio mm (pulg.)
64 (2.5)	0.05 (0.002)
76 (3)	0.10 (0.004)
114 (4.5)	0.13 (0.005)
152 (6)	0.18 (0.007)

Fuente: Rosato D.V. Extruding Plastics

Profundidad del filete en la zona de alimentación

Es la distancia entre el extremo del filete y la raíz del tornillo. En esta parte, los filetes son muy pronunciados con el objeto de transportar una gran cantidad de material al interior de la máquina extrusora, admitiendo el material sin fundir y aire que está atrapado entre el material sólido.

Profundidad del filete en la zona de descarga

En gran parte de extrusoras, la profundidad de filete en la zona de alimentación es mucho menor. Como consecuencia se obtiene una reducción de volumen en que el material es transportado, ejerciendo una compresión sobre el material plástico. Esta compresión es útil para mejorar el mezclado del material y para la expulsión del aire que entra junto con la materia prima.

Relación de compresión

Como las profundidades de los álabes no son constantes, las extrusoras se diseñan dependiendo del tipo de material a procesar, ya que los plásticos tienen comportamientos distintos al fluir.

La relación entre la profundidad del filete en la alimentación y la profundidad del filete en la descarga, se denomina relación de compresión. El resultado de este cociente es siempre mayor a uno y puede llegar incluso hasta 4.5 para ciertos materiales.

Longitud

Ésta característica tiene una importancia especial ya que influye en el desempeño productivo de la máquina y en el costo de ésta. Funcionalmente, al aumentar la longitud del tornillo y consecuentemente la de la extrusora,

también aumenta la capacidad de plastificación y la productividad de la máquina. Comparativamente, operando dos extrusoras bajo las mismas condiciones de velocidad angular y temperatura que sólo difieran en longitud, la máquina de menor longitud no podría alcanzar la capacidad de fundir o plastificar el material después de recorrer toda la extrusora, mientras que la de mayor longitud ocupará la longitud adicional para continuar la plastificación y dosificará el material perfectamente fundido.

La calidad de mezclado y homogeneización del material es otro aspecto que se mejora al incrementar la longitud. Así, en un extrusor pequeño la longitud no es suficiente para fundir el material al llegar al final del mismo y el plástico se dosifica mal mezclado.

Un extrusora de mayor longitud fundirá el material antes de llegar al final y en el espacio sobrante seguirá mezclando hasta entregarlo más homogéneo. Esto es importante cuando se procesan materiales pigmentados o aditivos que requieran incorporarse perfectamente en el producto.

Diámetro

Influye en la capacidad de producción de la máquina y generalmente aumenta en proporción con la longitud del equipo. A diámetros mayores, la capacidad en kg/h (lb/h) es posiblemente superior. Al incrementar esta dimensión debe hacerlo también la longitud del tornillo, ya que el aumento de la productividad debe ser apoyada por una mejor capacidad de plastificación.

Como consecuencia de la importancia que tienen la longitud y el diámetro del equipo, y con base en la estrecha relación que guardan entre sí, se acostumbra especificar las dimensiones principales del tornillo como una relación longitud / diámetro (L/D).

El rango de la relación L/D varía de 6 a 48, teniendo valores comunes entre 24 y 36 (siendo 24 el más popular). Relaciones L/D de 40 o más altas son usadas para alcanzar requerimientos especiales tales como extrusoras con sistemas de venteo que necesitan la extracción de humedad y compuestos volátiles del plástico fundido.

Tasa de salida

La tasa de salida o descarga (v), es la velocidad a la cual el plástico se moviliza a través de la extrusora. Generalmente los rangos van desde unos pocos kilogramos hasta más de 5 toneladas por hora y en extrusoras de tornillo doble con rango de diámetros entre 14 y 300 mm (0.55 y 12 pulg.) es posible obtener tasas de salida desde unos pocos kilogramos hasta al menos 30 toneladas por hora. La tabla 2.2 proporciona una guía de tasas de salida comunes para algunos materiales. Desviaciones promedio en la descarga están entre 10 y 15% basadas en las diferentes configuraciones de procesamiento.

Una estimación aproximada de la tasa de salida en libras por hora (lb/h) puede ser calculada mediante el uso del diámetro interno del barril (DI) en pulgadas:

$$v = 16 \cdot DI^2 \left(\frac{\text{lb}}{\text{h}} * 0.4536 = \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \quad (2.1)$$

Tabla 2.2 Tasas de salida comunes para algunos plásticos (lb/h)

Material	Diámetro del tornillo (pulg.)					
	1½	2½	3½	4½	6	8
ABS	280	400	825	1350	2270	4100
Acrílico	320	470	900	1500	2700	4750
PC	210	320	680	1025	1850	3200
PP	280	400	825	1350	2270	4100
HIPS	340	560	1100	1800	3250	5750
PVC, rígido	180	250	500	800	1450	2300
LDPE	310	525	1050	1750	3000	5500
LLDPE	200	300	600	1000	1800	3260
HDPE	215	325	725	1175	2150	3750

Fuente: Rosato D.V. Extruding Plastics

2.1.4.2. Componentes

Tolva

Es el depósito de materia prima, en donde el material plástico es colocado en forma de pellets o gránulos para la alimentación continua de la máquina extrusora.

Debe tener dimensiones apropiadas para ser completamente eficaz; malos diseños, principalmente en los ángulos de bajada de material, pueden provocar

estancamiento del material y consecuentemente paros inesperados en la producción.

En materiales de fácil compactación, una tolva que posea un sistema vibratorio puede fraccionar el material formado y permitir la caída del plástico, pero si aun así se presentan problemas con el material a procesar, una tolva que posea un tornillo puede ser la solución para lograr la adecuada alimentación.

Además existen tolvas con sistemas de secado que son usadas para eliminar la humedad del material que va a ser procesado. En sistemas de extrusión más automatizados, se cuenta con medios neumáticos o mecánicos de transporte de material desde contenedores hasta la tolva. Otros equipos anexos son los dosificadores de aditivos y como medidas de prevención existen imanes o magnetos para la retención de materiales ferrosos, que puedan dañar el tornillo y otras partes internas de la extrusora.

Barril

Es un cilindro metálico dentro del cual se halla situado el tornillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión. El barril debe tener una compatibilidad así como una resistencia óptima al material plástico que se está procesando, por lo que está fabricado de un metal con la dureza necesaria para reducir al mínimo cualquier desgaste, comúnmente aceros de diferentes tipos y de ser necesario se aplican métodos de endurecimiento superficial de las paredes internas del barril, que son las que están expuestas a los efectos de la abrasión y corrosión durante la operación de la máquina.

El barril posee resistencias eléctricas que proporcionan parte de la energía térmica que el plástico requiere para ser fundido. El conjunto de resistencias, en algunos casos va complementado con un sistema de enfriamiento que puede ser un flujo líquido o por ventiladores de aire. Todo el sistema de

calentamiento se controla desde un tablero, donde la temperatura de proceso se establece en función del tipo de material y del producto deseado.

Para evitar pérdidas de calor a lo largo del barril y evitar cambios no deseados en la calidad de la producción, se acostumbra aislar el cuerpo del barril con algún material de baja conductividad térmica como la fibra de vidrio o el fieltro.

Tornillo

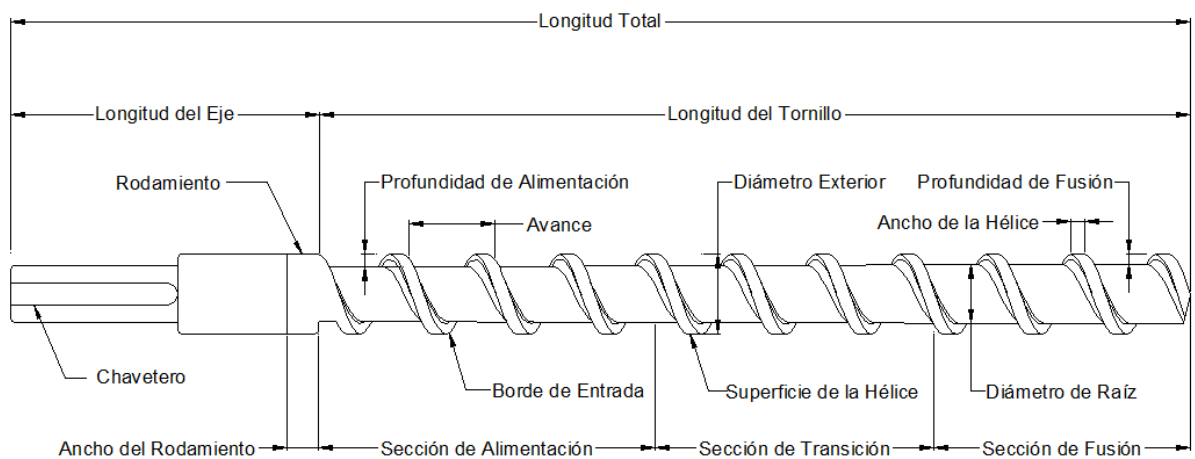


Fig. 2.7 Nomenclatura del tornillo de extrusión

Gracias al amplio estudio del comportamiento del flujo de los polímeros, el tornillo ha evolucionado desde el auge de la industrial plástica hasta convertirse en la parte de mayor desarrollo tecnológico dentro de una máquina extrusora.

Los tornillos para propósito general son diseñados para adaptarse al más amplio rango posible de plásticos, y cuando un material específico va a ser usado por un largo periodo, puede ser más beneficioso usar un tornillo dedicado para dicho material. El diseño de un tornillo está determinado por el flujo fundido o las propiedades del plástico, como el tipo, sus limitaciones de temperatura, el grado de mezcla requerido, la forma a extruir, y la cantidad de presión requerida para mover el plástico a través del dado.

La geometría de los álabes helicoidales del tornillo en rotación mecánicamente plastifica, con la ayuda de calor y presión en un flujo controlado, y mueven el material fundido para ser bombeado a través del dado. El plástico en el canal del tornillo está sujeto a cambios durante el proceso. Cada operación del tornillo somete al plástico a diferentes situaciones térmicas y cortantes, consecuentemente el proceso de plastificación puede llegar a ser muy complejo. Sin embargo, es controlable y repetitivo dentro de los límites de capacidad de la maquinaria y del material.

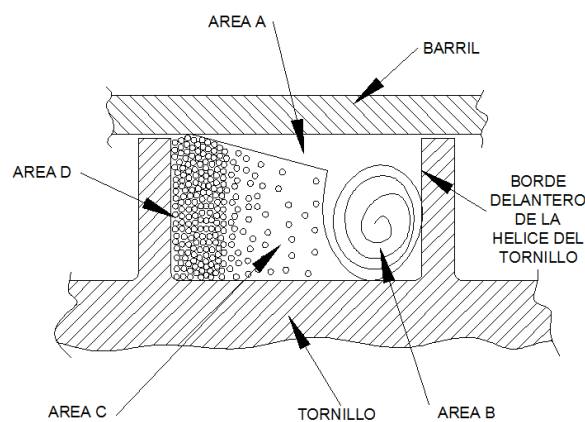


Fig. 2.8 Esquema del proceso de fusión del plástico en el tornillo

La figura 2.8 describe la fusión del plástico en un tornillo donde en el área A el plástico se funde debido a la transferencia de calor por conducción, y en el área B debido a la acción de cortante. El área C representa el plástico parcialmente fundido, el área D corresponde al plástico sin fundir que usualmente se refiere como el lecho sólido del material plástico.

2.1.4.3. Parámetros del proceso de extrusión

En extrusión, como en el resto de procesos, muchas veces el operador debe trabajar dentro de varias limitaciones de los materiales plásticos así como de la maquinaria. Los parámetros pueden dividirse en dos tipos: parámetros de

diseño que son aquellos que definen la geometría del tornillo y del cilindro y que no se pueden cambiar durante el proceso de operación de un extrusor; y parámetros operativos son aquellos que si se pueden cambiar durante el proceso.

Los parámetros a controlar dependen del material a procesar, entre otros son:

Calefacción

El montaje de la boquilla y dado debería estar totalmente calentado para mantener una temperatura de fusión uniforme. Generalmente, este montaje no pretende remover o añadir calor a la fusión; más bien es para mantener la temperatura de fusión preestablecida por el tornillo. Todas las posibles áreas de la boquilla y del dado deberían ser cubiertas por bandas calefactoras o equipos con calefactores internos.

Una excepción sería el área de un sello del flujo fundido, el cual posiblemente podría causar goteos. En este caso la banda calefactora podría ocultar el goteo hasta que una limpieza significativa sea requerida.

Temperatura

El principal efecto de la modificación de la temperatura de extrusión es la viscosidad del polímero (su resistencia al flujo). La selección de la temperatura de extrusión debe hacerse de manera tal que permita reducir el consumo de potencia del motor de la extrusora a valores tales que estén en el intervalo de trabajo del equipo y, adicionalmente, se alcance una viscosidad del polímero adecuada para su procesamiento. La temperatura óptima de extrusión de cada resina dependerá de su distribución de pesos moleculares, representado desde

el punto de vista reológico (deformación y fluencia de la materia) por su viscosidad y, comúnmente, por su índice de fluidez.

En casi todas las máquinas extrusoras, sólo la temperatura del cilindro es controlada directamente. El calor real del material fundido dentro del tornillo y mientras éste exista, puede variar considerablemente dependiendo de la eficiencia del tornillo usado así como del método de operación. Existen factores que afectan el calor necesario para alcanzar la fusión como: el tiempo que el plástico permanece en el plastificador (tiempo de residencia), el área dentro de la superficie interna del cilindro y del tornillo en donde se produce el calentamiento por volumen del plástico a ser calentado; la conductividad térmica del barril, tornillo y del plástico; el diferencial de calor entre el barril y el material fundido; y la turbulencia del plástico fundido dentro del barril. En el diseño del tornillo se debe mantener el balance entre la necesidad de proveer el tiempo adecuado para exponer el plástico al calor y la necesidad de maximizar la tasa de salida lo más económicamente factible.

A continuación se detallan temperaturas de procesamiento para algunos termoplásticos.

Tabla 2.3 Temperaturas de fusión para el procesamiento de termoplásticos

Material	Temperaturas de procesamiento	
	°C	°F
ABS	180 - 240	356 - 464
Acetal	185 - 225	365 - 437
Acrílico	180 - 250	356 - 482
Nylon	260 - 290	500 - 554

Tabla 2.3 Temperaturas de fusión para el procesamiento de termoplásticos (Continuación)

Material	Temperaturas de procesamiento	
	°C	°F
PC	280 - 310	536 - 590
LDPE	160 - 240	320 - 464
HDPE	200 - 280	392 - 536
PP	200 - 300	392 - 572
PS	180 - 260	356 - 500
PVC, rígido	160 - 180	320 - 365

Fuente: Rosato D.V. Extruding Plastics

Para el caso del Eva se recomienda una temperatura de fusión entre 95 - 220 °C (203 - 428 °F), nunca exceder los 220 °C (428 °F) como una precaución para evitar la degradación del material².

Existen dos procesos que asisten al calentamiento del polímero durante la extrusión:

1. Fricción entre las partículas del polímero y las paredes del cilindro o entre ellas mismas durante el transporte de la materia prima.

El calor generado por la fricción se debe a la acción mecánica de los esfuerzos cortantes y al arrastre del compuesto a lo largo del cilindro como se indica en la figura 2.9, por lo que es dependiente de la velocidad del proceso de extrusión, la energía que se produce es la responsable de generar el calor para gran parte de la fusión del polímero que se encuentra cerca de la tolva.

² DuPont: Extrusion Guide

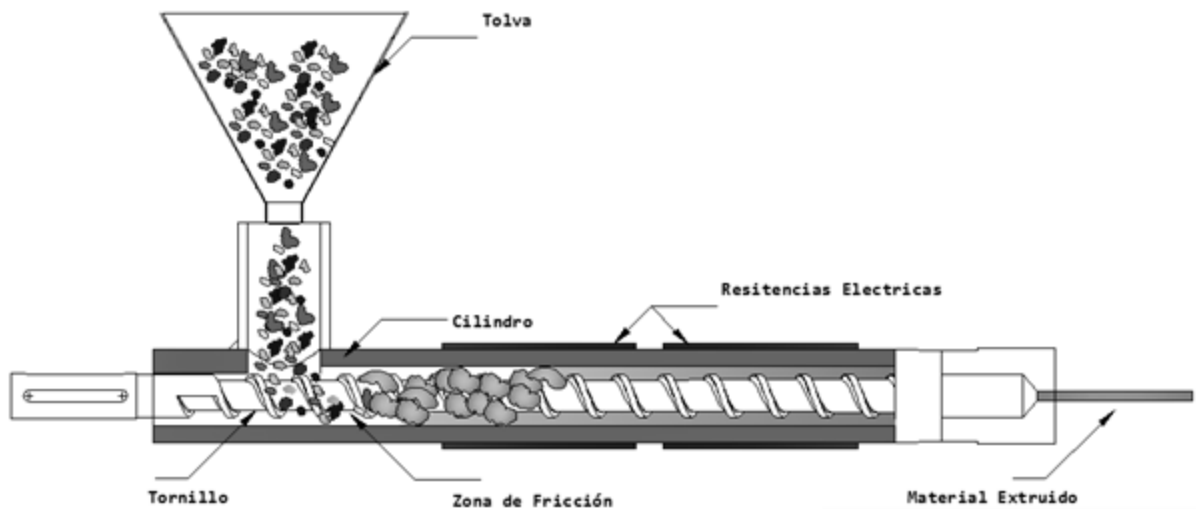


Fig. 2.9 Arrastre del material a lo largo del cilindro

2. Calor suministrado a la cámara de calefacción, este es provisto generalmente por el efecto Joule para contribuir en la fundición del polímero y mantenerlo a la temperatura óptima para el proceso de extrusión.

Las resistencias eléctricas generalmente son los mecanismos utilizados para el calentamiento del cilindro en una máquina extrusora.

El sistema de calentamiento de la extrusora es responsable de suministrar entre un 20-30% del calor necesario para fundir la resina. Para suministrar el calor requerido, el calentamiento suele ser de 25 a 50 vatios/in² (38750 a 77500 W/m²).

El calentamiento del cilindro se realiza teniendo en cuenta que la circulación de una corriente i por una resistencia r , durante un intervalo de tiempo Δt disipa en forma de calor Q_{gen} una cantidad de energía dada por:

$$Q_{gen} = ri^2 \cdot \Delta t \quad (2.2)$$

Además, puesto que la adición de calor produce un incremento en la temperatura ΔT dado por:

$$\frac{Q_{abs}}{c_p} = \Delta T \quad (2.3)$$

Donde Q_{abs} representa la cantidad de calor absorbido y C_p la capacidad calorífica del material a presión constante; se observa que es posible controlar la temperatura de una muestra en equilibrio térmico a través del intervalo de tiempo que se haga circular la corriente i por el elemento calefactor.

El enfriamiento se produce por las pérdidas de calor con el ambiente ya que este actúa como un sumidero.

Viscosidad

En un fluido bajo esfuerzo, la relación del esfuerzo cortante τ , a la tasa de deformación $\dot{\gamma}$, es llamada viscosidad de cortante η , y es análogo al módulo de un sólido. Para materiales plásticos esta viscosidad depende del esfuerzo, tasa de deformación, temperatura, entre otros.

Cuando un fluido está fluyendo a lo largo de un canal que posee una sección transversal uniforme, dicho fluido estará sujeto solamente a esfuerzos cortantes. Para definir el comportamiento del flujo podemos expresar la viscosidad del fluido η , como la relación entre el esfuerzo cortante τ , y la tasa de cortante $\dot{\gamma}$:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.4)$$

Además, para un canal de sección transversal circular de diámetro D y longitud L como en el caso de un dado de extrusión, el esfuerzo cortante τ y la tasa de cortante en la pared $\dot{\gamma}$, vienen dados por las relaciones:

$$\tau = \frac{P \cdot D}{4Ld} \quad (2.5)$$

y

$$\dot{\gamma} = \frac{32Q}{\pi D^3} \quad (2.6)$$

Siendo P la caída de presión que experimenta el fluido al atravesar el canal y, Q el flujo volumétrico de salida del material extruido.

A menudo es conveniente el uso de las curvas reológicas para estimar la viscosidad aparente del material fundido, que puede ayudar a aproximar y simplificar los cálculos; y que en el caso de estudio corresponden al EVA que presenta un índice de fluidez de 2 g/10min y un contenido de vinil acetato (VA) aproximadamente igual al 25%, y se muestra a continuación:

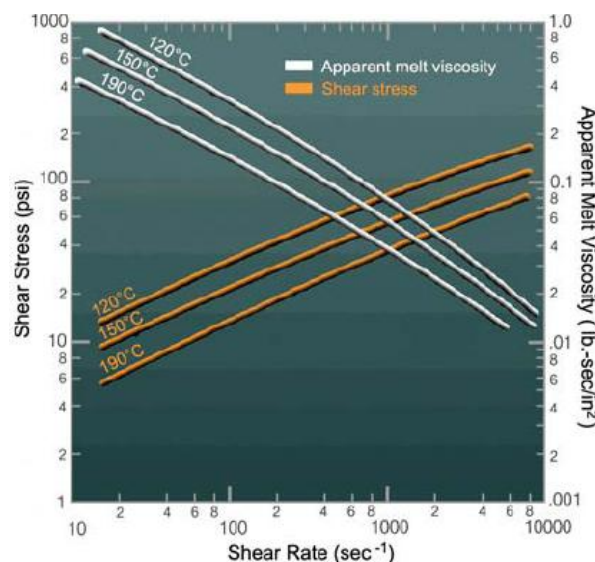


Fig. 2.10 Curvas reológicas para el EVA con 25% de contenido de VA e índice de fluidez 2

Presión

Los requerimientos de presión usualmente van desde 100 MPa (1500 psi) para un material compuesto o uno recuperado, a 275 – 350 MPa (4000 – 5000 psi) para líneas de películas moldeadas por soplado.

El gradiente de presión existente en el cilindro es una función de la forma real del tornillo a lo largo de su longitud como lo muestra la siguiente figura, en donde se puede notar que la presión máxima es alcanzada al final del tornillo. Para facilitar los cálculos es conveniente realizar una aproximación lineal:

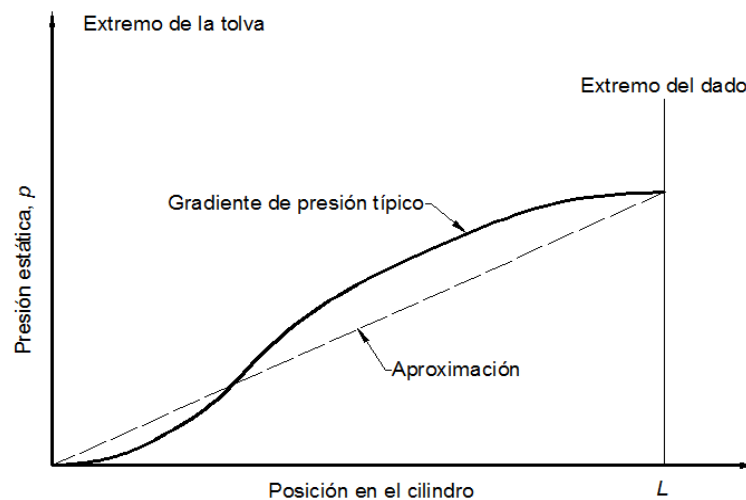


Fig. 2.11 Gradiente típico de presión en un extrusor

La máxima presión estática, la cual podría anular el flujo del material fundido en el extrusor está establecida mediante la ecuación:

$$p_{max} = \frac{6\pi DNL\eta \cot(A)}{dc^2} \quad (2.7)$$

Donde D es el diámetro del cilindro del extrusor, N la velocidad de rotación del tornillo, L la longitud del cilindro, η la viscosidad, A el ángulo de la hélice y dc la profundidad del canal del tornillo.

Velocidad de flujo

Al girar el tornillo dentro del cilindro, se fuerza al polímero fundido a moverse en dirección del dado; el sistema opera como un tornillo de Arquímedes. El principal mecanismo de transporte es el flujo por arrastre, que resulta de la fricción entre el líquido viscoso y las dos superficies opuestas que se mueven una con respecto a la otra: el cilindro estacionario y el canal del tornillo giratorio. La relación gobernante es:

$$Qd = 0.5\pi^2 D^2 N dc \sin(A)\cos(A) \quad (2.8)$$

Si no hay fuerzas presentes que se opongan al movimiento hacia adelante del fluido, esta ecuación podría suministrar una descripción razonable de la velocidad de flujo de la fusión dentro del extrusor. Sin embargo, al comprimir al polímero fundido a través de la corriente hacia adelante, el dado crea una contrapresión en el cilindro que reduce el transporte del material por arrastre. Este flujo a contrapresión se puede resumir en la siguiente ecuación:

$$Qb = \frac{p\pi D dc^3 \sin^2(A)}{12\eta L} \quad (2.9)$$

Donde p es la presión estática en el cilindro. El flujo a contrapresión no es realmente un flujo por sí mismo, sino es una reducción del flujo de arrastre, por lo que se puede calcular la magnitud del flujo de la fusión en un extrusor como la diferencia entre el flujo de arrastre y el flujo a contrapresión:

$$Q_x = Q_d - Q_b \quad (2.10)$$

También:

$$Q_x = vA \quad (2.11)$$

De donde v es la tasa de salida del material, y A el área de la sección transversal de la abertura del dado.

Si el flujo a contrapresión es cero de manera que el flujo de la fusión sea libre en el extrusor, entonces el flujo podría igualar al flujo de arrastre. Una vez que se establecen los parámetros de operación, esta es la capacidad de flujo máxima posible del extrusor:

$$Q_{max} = 0.5\pi^2 D^2 N dc \sin(A) \cos^2(A) \quad (2.12)$$

La máxima presión estática p_{max} y el flujo máximo posible del extrusor Q_{max} son puntos a lo largo de los ejes del diagrama conocidos características del extrusor. Esto define la relación entre la presión estática y la velocidad de flujo en una máquina extrusora con los parámetros operativos establecidos.

Con un dado en la máquina y la extrusión en proceso, los valores actuales de Q_x y p se localizarán en algún lugar entre los valores extremos, la localización está determinada por las características del dado. La velocidad de flujo a través del dado depende del tamaño y la forma de la abertura, y de la presión aplicada para forzar la fusión a través del dado. Esto se expresa como:

$$Q_x = K_s p \quad (2.13)$$

Siendo K_s el factor de forma para el dado y para una abertura circular (Dd) de dicho dado y de una longitud dada de canal (Ld), este factor se puede calcular como:

$$K_S = \frac{\pi D d^4}{128 \eta L d} \quad (2.14)$$

Para formas no circulares, el factor de forma del dado es menor que para la circular con la misma área de sección transversal, lo que significa que se requiere mayor presión para lograr la misma velocidad de flujo.

La relación entre Q_x y p se denomina característica del dado, que en la siguiente figura se representa como una línea recta, añadida a las características previas del extrusor. Los dos trazos se intersecan en un punto conocido como punto de operación, para el proceso de extrusión.

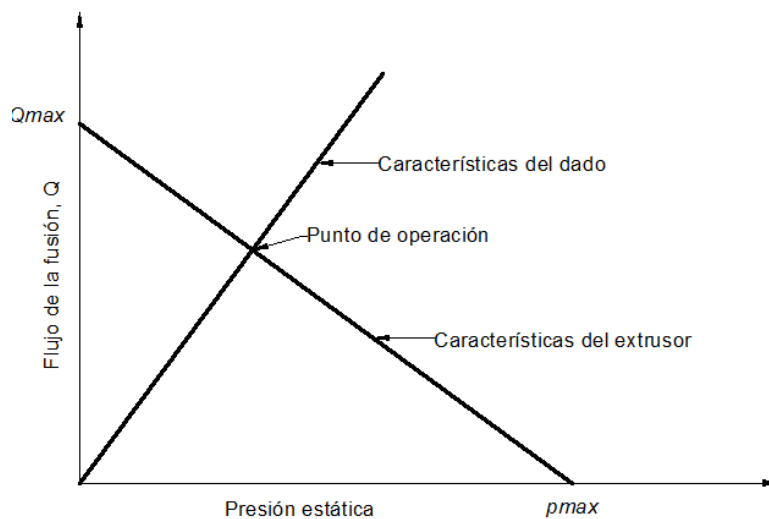


Fig. 2.12 Características del extrusor y del dado

2.2. PROCESO DE RECICLAJE DEL EVA (ETIL VINIL ACETATO)

2.2.1. SISTEMAS DE RECICLADO DEL EVA (ETIL VINIL ACETATO)

Los materiales plásticos tienen muchas ventajas sobre otros materiales y en el caso del co-polímero EVA presenta las siguientes: liviano, muy duradero, hasta buen aislante eléctrico, acústico y térmico. Pero a la hora de hablar de su reciclaje presenta muchos inconvenientes. Y cada uno de los pasos para cumplir el proceso de reciclado encarece notablemente el producto.

Hay cuatro diferentes sistemas de reciclaje de plásticos: primario, secundario, terciario y cuaternario. El conocer cuál de estos tipos se debe usar depende de factores tales como la limpieza y homogeneidad del material y el valor del material de desecho y de la aplicación final.

Reciclado primario

Consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. El reciclaje primario se hace con termoplásticos como PET (polietileno tereftalato), HDPE (polietileno de alta densidad), LDPE (polietileno de baja densidad), PP (polipropileno), PS (poliestireno), y PVC (cloruro de polivinilo).

El proceso del reciclaje primario se describe a continuación:

1. Separación: Los métodos de separación pueden ser clasificados en separación macro, micro y molecular. La macro separación se hace sobre el producto completo usando el reconocimiento óptico del color o la forma. La

micro separación puede hacerse por una propiedad física específica: tamaño, peso, densidad, entre otras.

2. Granulado: Por medio de un proceso industrial, el plástico se muele y convierte en gránulos parecidos a las hojuelas del cereal.

3. Limpieza: Los plásticos granulados están generalmente contaminados con comida, papel, piedras, polvo, pegamento, de ahí que deben limpiarse primero.

4. Peletizado: Para esto, el plástico granulado debe fundirse y pasarse a través de un tubo delgado para tomar la forma de spaghetti al enfriarse en un baño de agua. Una vez frío es cortado en pedacitos llamados pellets.

Reciclaje secundario

En este tipo de reciclaje se convierte el plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original. Ejemplos de estos plásticos recuperados por esta forma son los termofijos o plásticos contaminados. Este proceso elimina la necesidad de separar y limpiar los plásticos, en vez de esto, se mezclan incluyendo tapas de aluminio, papel, polvo, entre otros; se muelen y funden juntos dentro de un extrusor. Los plásticos pasan por un tubo con una gran abertura hacia un baño de agua y luego son cortados a varias longitudes dependiendo de las especificaciones del cliente.

Reciclaje terciario

Este tipo de reciclaje degrada el polímero a compuestos químicos básicos y combustibles. Es diferente a los dos primeros porque involucra además de un cambio físico un cambio químico. Hoy en día el reciclaje terciario cuenta con dos métodos principales: pirólisis y gasificación. En el primero se recuperan las materias primas de los plásticos, de manera que se puedan rehacer polímeros puros con mejores propiedades y menos contaminantes. Y en el segundo, por medio del calentamiento de los plásticos se obtiene gas que puede ser usado para producir electricidad, metanol o amoníaco.

Reciclaje cuaternario

Consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir el plástico es usado como combustible para reciclar energía. Las ventajas son: mucho menos espacio ocupado en los rellenos sanitarios, la recuperación de metales y el manejo de diferentes cantidades de desechos. Sin embargo, algunas de las desventajas es la generación de contaminantes gaseosos.

2.2.2. APLICACIONES DEL EVA RECICLADO (ETIL VINIL ACETATO)

Dentro de las muchas aplicaciones del EVA podemos citar:

- Suelas de zapatos
- Calzado
- Colchonetas y pisos
- Artículos para el hogar
- Aislante acústico
- Aislante térmico
- Sellos para tapas de gaseosas
- Manualidades
- Juguetes
- Juegos didácticos
- Tablas para natación
- Mancuernas de protección
- Envases
- Embalaje

- Encuadernación
- Recubrimiento de alfombras y moquetas

2.3. ANÁLISIS DEL EVA (ETIL VINIL ACETATO)

2.3.1. ORIGEN

Los co-polímeros EVA comenzaron a sintetizarse industrialmente hace aproximadamente 40 años. Estos co-polímeros se obtienen por reacción a alta presión entre los monómeros etileno y acetato de vinilo.

Un co-polímero es un polímero cuyas moléculas se componen de más de un tipo de monómero (molécula de pequeña masa molecular que unida a otros monómeros, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos forman macromoléculas llamadas polímeros). Un co-polímero no es una mezcla de polímeros, sino un compuesto químico que puede tener propiedades totalmente diferentes de las de cualquiera de los polímeros puros. El co-polímero de EVA (etil vinil acetato), por ejemplo es diferente tanto del polietileno y polivinil acetato, y sus cualidades dependen de la proporción relativa de cada monómero presente en este como se describe más adelante.

Debido a que tres, cuatro, o incluso más monómeros pueden ser copolimerizados, es posible sintetizar un gran número de polímeros de algunos materiales monoméricos. Al variar el tipo y cantidades relativas de los monómeros, los materiales con una amplia gama de propiedades mecánicas y químicas pueden ser producidos. Muchos de los plásticos en uso hoy en día son co-polímeros.

Los co-polímeros de etil vinil acetato (ethylene vinyl acetate, EVA) son productos de la tecnología del polietileno de baja densidad (low density polyethylene, LDPE). El contenido porcentual de VA (vinil acetato) y el índice de fluidez determinan sus propiedades.

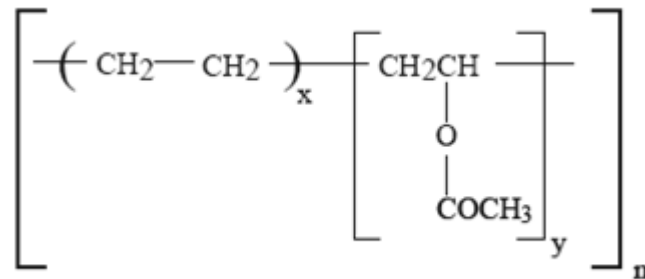


Fig. 2.13 Fórmula estructural de una unidad de co-polímero EVA

Los co-polímeros de EVA son materiales termoplásticos formados por una cadena de etileno que contiene, en general, de 5 a 50% de acetato de vinilo o vinil acetato (vinyl acetate, VA). Entre otras cosas el contenido de VA controla la flexibilidad de las resinas.

En el proceso de polimerización del etileno, se produce un co-polímero con una cristalinidad más baja que la del homopolímero (polímero proveniente de un único tipo de monómero) de etileno común. Estas resinas de más baja cristalinidad tienen temperaturas de fusión y temperaturas de termo sello más bajas, además de que se reducen la rigidez, resistencia a la tracción y dureza.

Las resinas de EVA son más transparentes, tienen mayor flexibilidad a baja temperatura, mayor resistencia a la ruptura y al impacto, pero sus propiedades a altas temperaturas son menores que las de LDPE. Las resinas de EVA con mayor contenido de VA tienen una resistencia un poco mayor a los aceites y grasas. Los grupos de VA contribuyen a mejorar la adhesión en extrusión o en formulaciones adhesivas de fusión en caliente.

2.3.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Índice de fluidez

El índice de fluidez es la medida de la velocidad de flujo del material plástico, esta medida es inversamente proporcional a la viscosidad y al peso molecular del polímero. Los polímeros con bajo índice de fluidez muestran mayor fuerza cohesiva y elasticidad, pero son más difíciles de procesar debido a su elevada viscosidad. Un peso molecular de promedio bajo equivale a índices de fluidez altos, presentando la masa fundida una viscosidad baja, ideal para procesos de extrusión. El índice de fluidez se sitúan en un el intervalo de 0.5 a 40 g/10 min. Esta medida se determina mediante un viscosímetro (Melt flow indexer) en el que una muestra homogénea se funde en el interior de un cilindro caliente a una temperatura definida para cada tipo de polímero, y tras un tiempo predefinido se obliga a pasar la masa fluida por la boquilla.



Fig. 2.14 Figura de un viscosímetro (melt flow indexer)

Contenido de vinil acetato (VA)

Es un factor determinante de las características físico - químicas del EVA. El polietileno (PE) es un polímero termoplástico parcialmente cristalino y cuando en su estructura se introduce un monómero flexible, como es el VA, se rompe la regularidad estructural, la distancia entre las cadenas poliméricas aumenta disminuyendo su cristalinidad. Mientras se va aumentando la cantidad de VA se contribuye a aumentar la transparencia y la flexibilidad.

La disminución de la cristalinidad del EVA incide en:

- El incremento de la resistencia a la rotura en frío
- Menor resistencia a la tensión
- Menor resistencia a la deformación por calor (punto de reblandecimiento)
- Incremento de la flexibilidad (mayores alargamientos bajo tracción)

Experimentalmente se ha observado que los co-polímeros EVA con una cantidad de VA entre 24 y 28 % presentan un equilibrio entre las propiedades que dependen del contenido cristalino y amorfo. La compatibilidad de los co-polímeros EVA en mezclas con otros polímeros depende de este equilibrio.

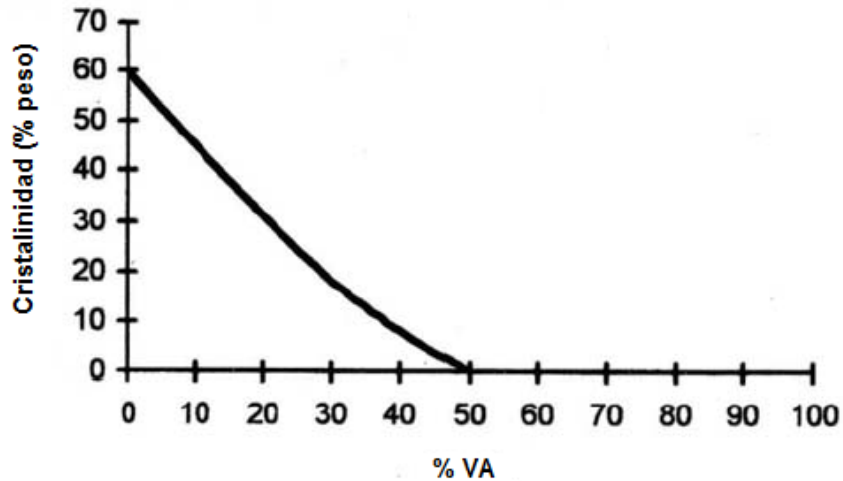


Fig. 2.15 Dependencia de la cristalinidad con el contenido en VA

El contenido en VA de los co-polímeros EVA también afecta a las siguientes propiedades:

- Resistencia al impacto
- Choque térmico
- Tendencia al agrietamiento de materiales poliméricos en zonas con tensiones bajo la acción de ciertos líquidos
- Densidad del material ($0.93-0.96 \text{ g/cm}^3$, según el contenido en VA).

El punto de fusión es otra propiedad que varía al aumentar la cantidad de VA en el co-polímero EVA, ya que va disminuyendo hasta 50°C al aproximarse la cristalinidad a cero.

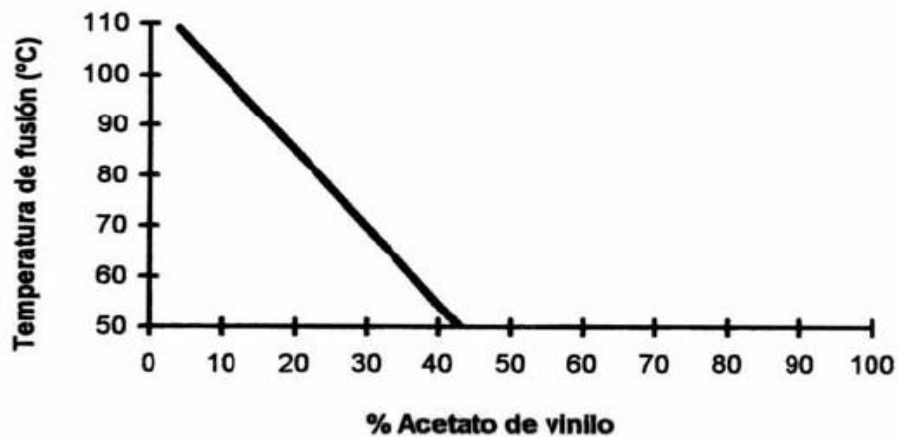


Fig. 2.16 Variación del punto de fusión de los co-polímeros EVA en función de la cantidad de VA

Algunas propiedades disminuyen al aumentar el contenido en acetato de vinilo en el co-polímero, como son la resistencia a la deformación por calor, el aislamiento eléctrico, la resistencia química, la tensión en rotura, la rigidez y la dureza.

Temperatura de transición vítrea (Tg)

Todos los polímeros termoplásticos presentan una Tg, es un valor de mucha importancia en ingeniería de polímeros, pues indica la temperatura de trabajo del plástico y con esto se puede determinar si un plástico puede ser utilizado para una aplicación dada.

La Tg se define como la temperatura a la cual la fase amorfa del polímero comienza a experimentar movimientos rotacionales al perderse gradualmente los enlaces de Van der Waals, va disminuyendo al aumentar el contenido de VA, al producirse un aumento de la distancia entre las cadenas y existir un menor impedimento estérico para la rotación, que provoca una mayor flexibilidad de la cadena polimérica. La Tg depende también del peso

molecular, debido a que, al aumentar éste, la ordenación de las cadenas es más difícil y se facilita, por tanto, la rotación.

2.3.3. CARACTERÍSTICAS

Las características más destacadas del co-polímero EVA son:

- Buena resistencia química y térmica
- Es fácil de cortar.
- Buena procesabilidad, es decir se puede trabajar por los métodos de conformado empleados para los termoplásticos, como inyección, extrusión y soplado.
- Baja absorción de agua.
- Es fácil de pegar.
- No es tóxico.
- No es dañino al medio ambiente, se puede reciclar o incinerar.

2.3.4. APLICACIONES

En la actualidad en la industria podemos hallar diferentes tipos de co-polímeros EVA y los encontramos divididos en diferentes grupos:

- EVA con 3 a 20 % en peso de acetato de vinilo

Se utilizan en el mercado de los plásticos, pueden ser moldeados por inyección, extrusión y soplado como otros materiales termoplásticos. En la industria del juguete se utilizan para fabricar ruedas para coches, puzzles (rompecabezas), juguetes flexibles de primera infancia, entre otros.

Otras aplicaciones son en la fabricación de:

Suelas de calzado

Sandalias de playa

Chalecos salvavidas

Guardabarros

Empaquetado

Juntas

Tubos

Cubiertas de cables

Bolsas y envases de ultra congelados

Blister para algunos medicamentos

- EVA con 15 a 40 % en peso de acetato de vinilo

Este tipo de EVA es utilizado en el mercado de recubrimientos y adhesivos termofusibles. El contenido de 28 % de VA es el más utilizado para fabricar esta clase de adhesivos.

- EVA con 45-55 % en peso de acetato de vinilo

Se utilizan para la fabricación de cauchos y para poder producir el anclado (un tipo de injerto) del EVA en PVC mediante co-polimerización.

- Para la industria de adhesivos se utilizan ampliamente los co-polímeros EVA con contenido elevado de acetato de vinilo.

- EVA micro celular y espumado

Este tipo de EVA es de menor densidad que el EVA puro, el procesamiento y moldeo de este material se lo realiza con mucha facilidad, tanto por inyección como por compresión. Uno de los sectores que utiliza este tipo de material son los de calzado y juguetes.

Las espumas micro celulares basadas en co-polímeros EVA han surgido como alternativa a las micro porosas de caucho en industrias como el calzado, ya que se consiguen propiedades generales equivalentes con una menor densidad, lo que significa una menor cantidad de material, así como una mayor resistencia a los productos químicos, grasas y aceites. Otra importante ventaja de las espumas micro celulares de EVA es que ofrecen ilimitadas posibilidades de coloreado, lo cual amplía la gama de productos a fabricar. En la industria del juguete se utiliza sobre todo en la fabricación de puzzles y juegos de primera infancia.

- El co-polímero EVA solo o como componente de una mezcla

Es apropiado para su uso en contacto con alimentos, ya que cumple las exigencias de los organismos competentes en reglamentación de alimentos. Las películas de escaso espesor (film) se utilizan en bolsas para envasado de carne fresca o congelada, productos hortícolas, como aditivos de cauchos y plásticos, guantes de un solo uso, etc. Estas películas poseen buenas características de flexibilidad, tenacidad, propiedades ópticas, permeabilidad a los gases, facilidad de soldadura, entre otros.

Otras aplicaciones interesantes del EVA moldeado por inyección o extrusión son la elaboración de piezas que requieren gran flexibilidad a baja temperatura (tales como juntas de cierre de puertas de frigorífico, botas y pistas artificiales de esquí, bandejas para cubitos de hielo), aplicaciones médico-farmacéuticas

(mascarillas de oxígeno, tubos para transfusiones, soportes de micro lentillas, tetinas de biberón, chupetes, piezas para ortodoncia), entre otros.

La segunda aplicación de importancia para el co-polímero EVA es **hotmelt** (adhesivo termoplástico), con un 17% sobre el total del mercado y distribuido como se muestran en las siguientes graficas:

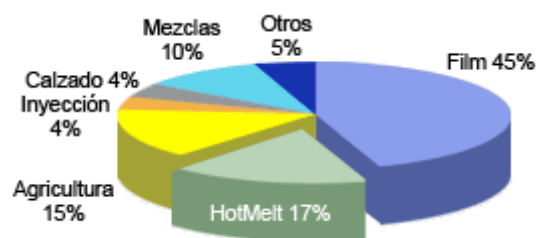


Fig. 2.17 Principales aplicaciones del co-polímero EVA

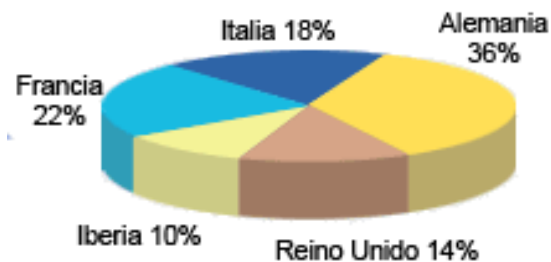


Fig. 2.18 Distribución del uso del co-polímero EVA³

³ www.ypf.com/ar_es/productos_y_servicios/productos/productos_quimicos/infomacion_comercial/aplicaciones_quimicas/adhesivos/copolimeros_eva/aplicaciones/default.aspx

