

## CONFORMADO DE PLÁSTICOS

### Introducción.

Las técnicas de transformación de materiales plásticos tienen por objeto el conseguir las más diversas formas de piezas cuyo comportamiento sea adecuado a las aplicaciones a las que van a ser destinadas.

Una de las ventajas de los materiales plásticos es la gran facilidad con que se obtienen los productos finales a partir de materias primas, esto conlleva que el proceso de transformación sea muy económico. Los objetos de plástico, en general, se obtienen con su forma definitiva con muy poco desperdicio de material, solo se recurre a mecanizado, mediante máquinas-herramientas, a partir de prefabricados (placas, barras, tubos, etc. ). además muchos plásticos no son susceptibles a mecanizado debido a su estructura molecular; es imposible, por ejemplo, mecanizar un polímero con alto grado de reticulación puesto que para conseguir esto deberíamos romper gran parte de la estructura.

Los polímeros termoplásticos suelen trabajarse previamente fundidos o restablecidos por efecto simultáneo de la aplicación de calor, presión y esfuerzos cortantes o de cizalla.

Las técnicas más utilizadas son la de **moldeo por inyección** y la **extrusión**. En el moldeo por inyección el material plastificado fluye a través de unas boquillas que comunican con uno o varios moldes en los que se enfría y adquiere la forma definitiva. es un método discontinuo por la necesidad de abrir y cerrar los moldes para extraer las piezas.

En la extrusión el material plastificado fluye por una boquilla que lo conforma y el enfriamiento se efectúa a la salida de la misma, en contacto con el aire, agua o superficie fría. Este es un método continuo y proporciona perfiles macizos o huecos, que se cortan en largos estandarizados.

Cuando se quiere obtener láminas continuas de pequeño espesor de polímeros plastificados (pieles), se recurre a un proceso similar al de laminación de los metales, mediante calandrias de rodillos, calientes al principio y fríos al final. Este sistema se llama **calandrado**.

El **termoconformado** es una técnica que se basa en calentar láminas de un polímero y por medio de aire a presión, o aplicando vacío, son obligadas a adaptarse a la forma del molde. Este sistema se usa sobre todo para la fabricación de objetos de muy pequeño espesor.

En el caso de que los materiales sean termoestables, estos por lo general, se trabajan por compresión en moldes de la forma adecuada. Estos moldes son cargados con la cantidad exacta de resina, agente y/o catalizador de cuadro y aditivos, a estos se les aplica calor para formar las reacciones de reticulación o cuadro. de esta misma manera se obtienen piezas de materiales

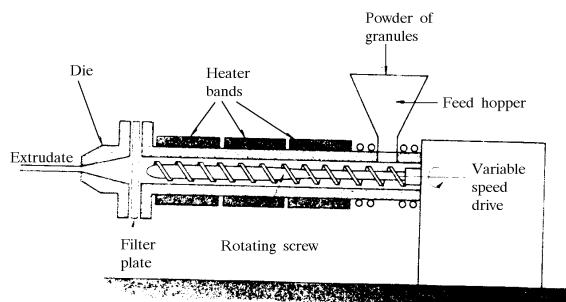
elastómeros, que también admiten las técnicas de transformación de los termoplásticos cuando la velocidad de las reacciones de vulcanización es suficientemente lenta.

Hay que destacar los problemas que conlleva el enfriamiento de estos materiales que si no se hace con cuidado puede haber cambios en las dimensiones de las piezas. La velocidad de enfriamiento es un parámetro crítico que puede influir en las propiedades y comportamiento del material y, en consecuencia, de los objetos fabricados, sobre todo cuando en el proceso han estado a grandes esfuerzos de cortadura y/o tracción, que proporcionan a las macromoléculas un deslizamiento y estirado en la misma dirección. Cuando cesan los esfuerzos el material tiende a volver a la posición ovillada correspondiente al mínimo de energía. Esta operación se realiza más lentamente cuanto más cercana este la temperatura de transición vítrea del material ( $T_g$ ). Si el material se enfría antes de que se liberen todas las tensiones, este queda con un cierto grado de anisotropía. Algunas veces se provoca este efecto deliberadamente para obtener propiedades, como es el caso de los filmes biorientados y en las fibras, en las que durante el enfriamiento (o evaporación del disolvente en las fibras acrílicas), se procede a un estirado; pero en general es indeseable.

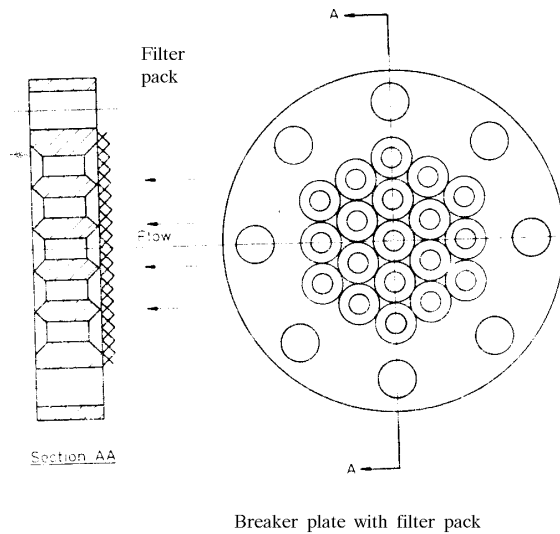
La velocidad de enfriamiento afecta también al crecimiento de las estructuras cristalinas que tanta influencia tiene en las propiedades y comportamiento de los materiales termoplásticos. En los termoestables o duroplásticos y en los elastómeros un enfriamiento lento proporciona un mayor grado de recitación, que también afecta a la rigidez y demás características del producto final.

## Extrusión.

La extrusión es un proceso mediante el cual el material es obligado a fluir por una boquilla o hilera, en estado fundido, debido a la aplicación de presión y de calor. A su salida el material ya conformado por la boquilla es recogido por un sistema de arrastre mientras se enfría quedando con su forma definitiva.



Las extrusoras constan de un cilindro en cuyo interior se aloja un husillo que al girar recoge el material de la tolva de alimentación y lo hace avanzar. Este husillo es un tornillo sin fin que somete al material a esfuerzos de cizalla a la vez que lo comprime y lo dosifica a través de un plato rompedor hasta la boquilla.



En este proceso se pueden diferenciar tres zonas:

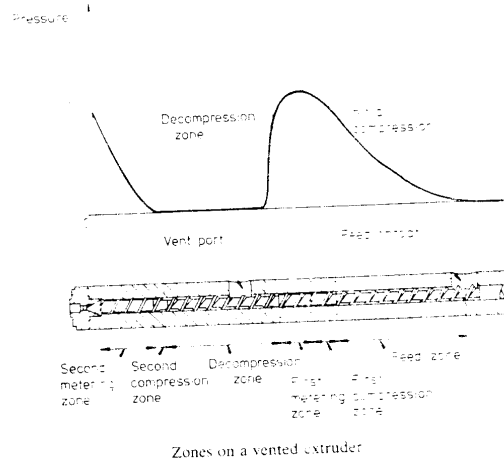
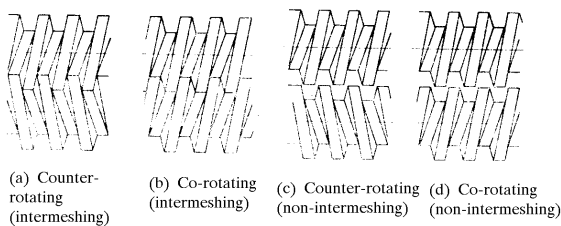
a) **Zona de alimentación:** La

función de esta zona es precalentar el plástico y conducirlo a las subsiguientes zonas. El diseño de esta sección es muy importante porque debe suministrar la cantidad justa de material a la zona de dosificación.

b) **Zona de compresión:** en esta zona la profundidad del tornillo decrece gradualmente para comprimir el plástico. Esta compactación tiene un doble efecto: evacuar cualquier bolsa de aire hacia la zona de alimentación y aumentar la transferencia de calor al disminuir el espesor del plástico.

c) **Zona de dosificación:** La profundidad aunque reducida permanece constante. En la zona de dosificación el fundido es homogeneizado para suministrar a una razón constante, temperatura uniforme en el material y presión a la boquilla.

A veces pueden introducirse zonas complementarias para mejorar el producto en la salida como pueden ser: Zonas de desgasificación o zona de mezcla.



Los elementos de calefacción pueden ser resistencias eléctricas blindadas que se encuentran alojadas en cada una de las zonas del cilindro. Otras veces se utiliza aceite caliente que se hace circular por medio de canales hechos en el cilindro. En cualquier caso la regulación de temperatura debe hacerse independientemente por tramos, para conseguir el mas adecuado perfil de temperaturas. La superficie interna debe ser altamente resistente a la abrasión y corrosión, realizándose en aceros nitrurados o con camisas

de aceros con alto contenido de cromo.

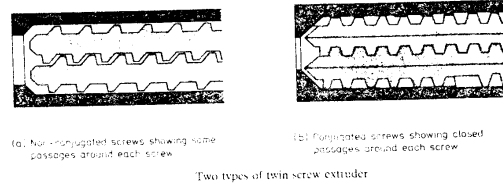
El plato rompedor está formado por varias placas perforadas, entre las que se disponen tamices metálicos. Las misiones que desempeña son: transformar el flujo helicoidal del material en un flujo paralelo mas regular; homogeneizar más la temperatura; retener cualquier cuerpo extraño o granza parcialmente fundida, y crear una contrapresión, regularizando el flujo por la hilera.

La forma y disposición de la hilera es función de la forma deseada del producto final. Si va a ser un perfil hueco, se coloca un torpedo, que es un núcleo central sujetado por medio de aletas. El material fluye a su alrededor y se va enfriando a medida que sale del extrusor quedando con la forma hueca.

Elementos importantes son los cojinetes de empuje axial, que están sometidos a reacciones de gran valor, teniendo que ser estos muy robustos para aguantar la sollicitación.

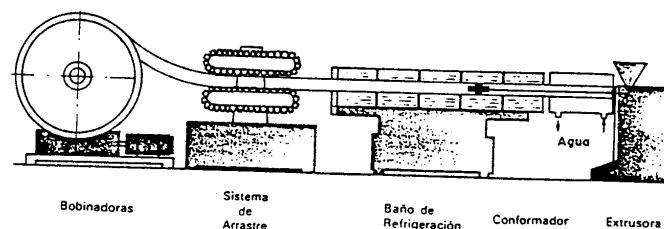
La tolva de alimentación debe disponer de calefacción y/o secado, cuando se trabaja con materiales higroscópicos, tales como las poliamidas y el polietileno con negro de humo. Un método corriente de secado consiste en una corriente de aire caliente que pase a través de los gránulos en la tolva.

Cabe mencionar la existencia de extrusoras con doble husillo pero las mas frecuentes son las de husillo único.



### Extrusión de tubos.

Una unidad típica de extrusión consta de: una extrusora, un dispositivo de calibrado de tubos, un baño de refrigeración, un sistema tractor y un sistema de corte y recogida de tubería.



Los métodos de calibrado corrientemente utilizados son: el tubo de calibrado externo, las placas de calibrado y el mandril interno. El primero consiste en un tubo refrigerado al que se adapta el tubo de plástico, bien por vacío, a través de una serie de orificios en el tubo calibrador, bien por presión en el tubo a calibrar. la calibración mediante placas con un taladro por el que pasa el tubo inmersas en agua, controla bastante bien el diámetro exterior y permite un enfriamiento rápido. El sistema de mandril proporciona un diámetro interno bien controlado.

El sistema tractor produce un estirado del tubo, hasta alcanzar el espesor adecuado. la velocidad tiene una relación con la velocidad de salida del material por la hilera.

### Extrusión soplada.

Este proceso es original del tratamiento de vidrio. pero el proceso, además de realizarse a mucha menor temperatura, entraña un mayor control para asegurar los espesores. se usa para producir objetos huecos. hay cierto número de variaciones con respecto al proceso convencional.

El proceso consiste en formar un macarrón, esto se consigue con una boquilla anular, se mete en un molde que al cerrarse machaca una parte del macarrón, dejando el otro extremo abierto. por este extremo entra el soplador que inyecta aire a presión inflando el macarrón hasta que toma la forma del molde. después de esto se enfría la pieza y se expulsa el molde.

Una extrusora y varios moldes es la configuración normal, así se aprovecha el régimen de producción de la máquina al máximo.

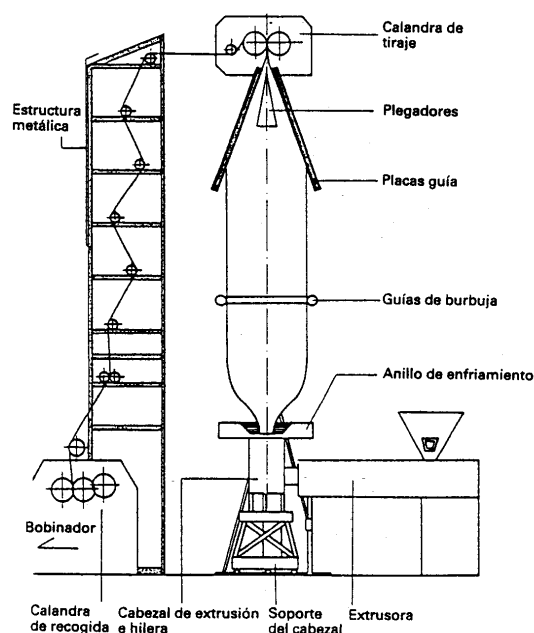
Este proceso, es una combinación de las transformaciones por extrusión y las de moldeo. De la extrusora sacamos un macarrón, que es como un tubo vacío, que es introducido en un molde que prensa uno de sus extremos, el otro queda libre para introducir una boquilla que lo que hace es "soplar", aire comprimido en el interior del macarrón, forzándole a adaptarse a las paredes del molde, adquiriendo su forma al enfriarse.

Con esta forma de transformación se consiguen objetos huecos de varias formas distintas, como botellas, frascos, etc.. El proceso en sí es muy parecido al de inyección soplado que será estudiado más adelante.

### Extrusión de filmes.

Los filmes de PEBD de espesores entre 30 y 200  $\mu\text{m}$  y anchos de 400 a 1200 mm se fabrican generalmente por extrusión y soplado. De la extrusora sale un tubo de gran diámetro que se hincha mediante aire comprimido, formando una larga burbuja cilíndrica de varias veces el diámetro del tubo extruido. El film se enfría luego y se aplasta entre dos rodillos de arrastre pasando seguidamente por la calandra de enrollado, donde se recoge la bobina. Entre los rodillos de arrastre y la calandra se disponen generalmente los sistemas de tratamiento y eliminación de cargas estáticas.

A la salida del cabezal de la extrusora el material, con un espesor entre 0,5 y 1,4 mm, con un tramo recto de 20 mm de longitud como mínimo para obtener un film de espesor regular, se enfría bruscamente mediante una corriente de aire frío concéntrica con el film. Si esta corriente no es concéntrica con la burbuja se puede producir una diversidad de espesores que dan lugar a la formación de ondulaciones en la bobina.



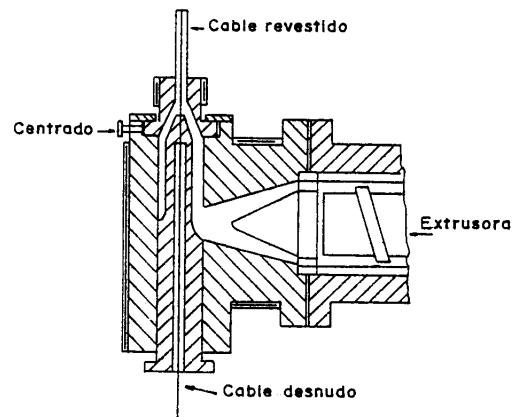
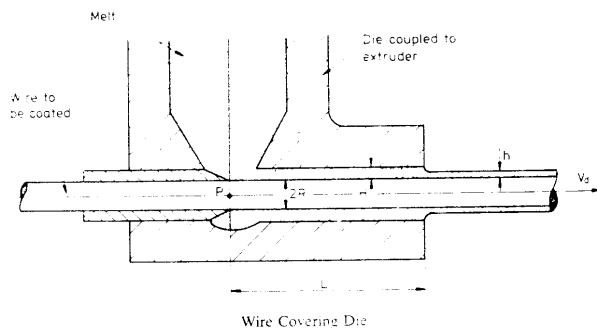
## Extrusión de láminas y planchas.

Para la fabricación de láminas y planchas de termoplásticos rígidos o flexibles se utilizan extrusoras con cabezales transversales, como la de los filmes planos, que disponen de una hilera cuyo ancho es algo mayor que el producto final. El espesor se regula con la separación de los labios de la boquilla. La lámina extruida todavía caliente, pasa a través de unos rodillos o cilindros de enfriamiento que, además, estiran el material, reduciendo su espesor a la medida deseada.

## Recubrimiento por extrusión.

En la actualidad se recubren gran número de materiales con filmes de plástico, especialmente PEBD, mediante extrusión directa. El fundamento del proceso consiste en la extrusión de un film delgado de PE fundido, que se aplica por presión sobre el sustrato sin utilización de láminas y placas. El fundido sale de la cabeza de la extrusora es estirado por dos rodillos cilíndricos directamente situados debajo de la hilera y entre los cuales pasa el sustrato con una velocidad mayor que la de salida del polímero de la extrusora, con lo que se consigue el espesor deseado, mientras que la presión entre los rodillos lo suelda al sustrato.

Seguidamente se refrigera en otro rodillo, se cortan los bordes laterales, en lo que es imposible conseguir un buen acabado, y se bobina.



E 1  
recu

El recubrimiento por extrusión se utiliza para recubrir cables eléctricos, usando boquillas especiales, a las que se alimenta simultáneamente el cable y el plástico fundido.

## Moldeo.

El moldeo es la técnica de producción mas generalmente utilizada para los materiales termoplásticos.

Se puede hacer una división en tres ramas básicas:

1. **Moldeo por compresión:** es la más sencilla y antigua. Consiste en introducir una cierta cantidad de polímero reblandecido dentro de un molde hembra, para que después baje el molde macho hasta someter al polímero a presiones de 100 a 600 atm., haciendo que el material tome



la forma de la cavidad.

2. **Moldeo por inyección:** surge para aumentar la productividad, aprovechando la propiedad de los termoplásticos, su capacidad de fundir, se introduce el material ya fundido en el interior del molde.

3. **Moldeo por transferencia:** utilizado para materiales termoendurecibles o elastómeros, las piezas se conforman en un molde cerrado a partir del material fundido que se transfiere a cavidades auxiliares bajo presión. Esta técnica puede considerarse como una mezcla de las dos modalidades anteriores.

En este trabajo nos vamos a centrar en el moldeo por inyección que es hoy en día una de las técnicas más utilizadas para la transformación de polímeros.

Las primeras máquinas eran como las de la figura, del tipo pistón. Una determinada cantidad de material caía de la tolva al barril. El pistón conduce el material a lo largo del barril donde es calentado por conducción. El material es plastificado así y será forzado a través de la boquilla a la cavidad interior del molde.

Para mejorar la mezcla y la transferencia de calor se coloca un torpedo entre el pistón y la boquilla.

Desafortunadamente esta máquina tiene los siguientes problemas:

1. Hay poca mezcla u homogeneización el material fundido.
2. Es difícil de medir la cantidad a inyectar.
3. La presión en la boquilla puede variar entre los distintos ciclos.
4. La presencia del torpedo introduce una gran pérdida de presión.
5. El flujo del material depende fuertemente de la presión y como esta es poco controlable amplifica la variabilidad en el llenado del molde.

La mayoría de los problemas de esta máquina son solucionables mediante la utilización de una unidad de preplastificación del material. Entonces surgieron modelo de dos barriles: uno contenía un husillo extrusor y el otro un pistón. Este sistema mejora en la homogeneidad del material y en la cantidad inyectada (shot), otra ventaja es que se podía prescindir del uso del torpedo.

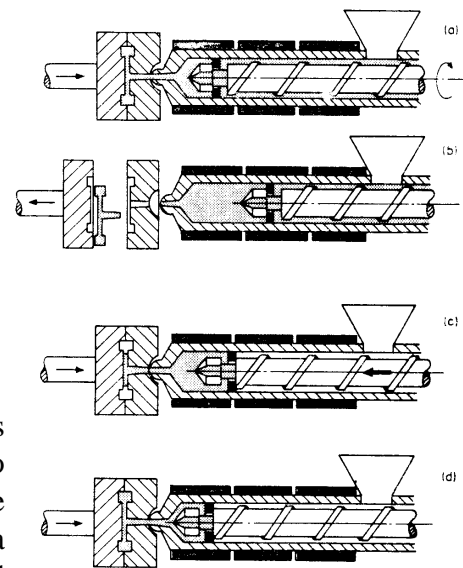
Hoy en día, el mercado está dominado por las máquinas del tipo husillo. Un husillo de tipo extrusor realiza un doble trabajo. En primer lugar, el husillo gira normalmente haciendo avanzar al material, fundiéndolo y presurizándolo. En segundo lugar, cuando no está girando, es capaz de moverse hacia adelante cual pistón inyectando el material en el molde.

El moldeo por inyección requiere temperaturas y presiones mas elevadas que cualquier otra técnica de transformación, pero proporciona objetos de bastante precisión, con superficies lisas y limpias.

Un ciclo típico del proceso sería el siguiente:

1. Cierre del molde.
2. Avance del grupo de inyección.
3. Inyección del material en el molde.
4. Mantenimiento de la presión.
5. Refrigeración y solidificación del objeto.
6. Retroceso del grupo de inyección.
7. Plastificación del material para el ciclo siguiente.
8. Abertura del molde y expulsión.

En las máquinas de inyección se diferencian dos partes: unidad de inyección y unidad de moldeo. Cuando el tiempo de enfriamiento en el molde es muy largo se puede disponer de una unidad de inyección acoplada a varios moldes diferentes para mejorar la productividad del sistema.



Typical cycle in reciprocating screw injection moulding machine

### Partes de una máquina de inyección.

Las máquinas de inyección actuales constan de dos partes bien diferenciadas la una de la otra: **la unidad de inyección y la unidad de moldeo**. Ahora analizaremos cada una de ellas por separado, mostrando de que elementos se componen y analizándolos.

La **unidad de inyección** se compone de la tolva de alimentación, el sistema de dosificación, plastificación e inyección.

La **tolva de alimentación** va conectada al cilindro donde tiene lugar la plastificación. En la tolva normalmente se completa el secado del material antes ser sometido a la plastificación.

El **sistema de dosificación, plastificación e inyección** hace el papel de un extrusor, en la forma de plastificar y transportar el material. La única diferencia radica en la válvula que impide el retroceso del material y la capacidad del husillo de actuar como un pistón. El volumen necesario de material para cada "shot" se regula mediante el número de vueltas que da el husillo retrocediendo hasta un cierto tope fijado previamente por el usuario. Cuando se alcanza este tope, se cierra esta válvula de retención y el husillo avanza, sin girar, introduciendo el material en el molde. La plastificación mediante husillo proporciona una fusión regular y homogénea, con poco riesgo de degradación térmica, es por esto que se ha impuesto este sistema.

Vamos a profundizar en cada parte del sistema de dosificación, plastificado e inyección:

### Husillo.

Los husillos usados en estas máquinas son básicamente los mismos que los de las máquinas de extrusión. Las relaciones de compresión mas comunes son del 2,5:1 y 4:1, mientras que L/D suelen ser de 15 a 20. Algunos tornillos son capaces de inyectar plásticos a 200 MN/m<sup>2</sup>. La diferencia más importante es la presencia de la válvula antiretroceso del material en el





extremo del husillo. El objetivo de esta válvula es el de para cualquier flujo de retroceso cuando el husillo actúa como pistón. Cuando el material está siendo llevado hacia adelante mediante la rotación del tornillo, la válvula permanece abierta. Hay que aclarar que cuando se trabaja con materiales degradables térmicamente como el PVC la válvula no funciona.

### **Calentadores y cilindros.**

Son similares a los descritos anteriormente para las máquinas de extrusión. El avance técnico más relevante es la introducción en el barril (cilindro donde se aloja el husillo) de una ventana para permitir que se evapore el agua que pueda contener el plástico evitando así tener que realizar un secado previo del material. El material entra en el husillo con cierta cantidad de agua en su interior, al entrar en contacto con el husillo el material plastifica y el agua pasa a estado vapor, cuando llega a la ventana de degasificación este vapor sale por ella quedando solo el material plástico en el interior. Los calentadores suelen ser resistencias eléctricas, cuya temperatura es controlada mediante un termopar.

### **Boquillas.**

Las boquillas son atornilladas en el extremo del barril. El material es calentado tanto por fricción como por conducción a su paso por la boquilla. Es aconsejable, una vez terminada la inyección, retirar la boquilla del molde debido a la posibilidad de que el plástico se congele en la punta de la boquilla al estar en contacto con el frío molde. Hay muchos tipos de boquillas.

Boquillas abiertas, son las más simples, minimizan las caídas de presiones. Si la viscosidad del material es baja, entonces se producirá goteo. La solución a este problema es usar una boquilla del tipo "shut-off", es igual a la anterior pero con una válvula que regula los escapes.

La **unidad de moldeo** consta principalmente de los moldes y del sistema de anclaje o sistema de sujeción de los moldes. Los moldes a su vez constan de muchas partes diferentes que vamos a analizar.

**Sistema de sujeción del molde.** Es necesario para mantener a los moldes juntos durante el proceso de inyección y el de enfriamiento. El sistema puede ser hidráulico o mecánico. El sistema hidráulico consiste en introducir aceite bajo presión dentro de un pistón y se usa cuando las fuerzas necesarias son muy grandes, la fuerza puede ser ajustada para que no haya riesgo de pérdidas. El sistema mecánico es usado con fuerzas menores y en aplicaciones que necesitan alta velocidad de operación. A veces hay combinaciones de ambos sistemas.

### **Moldes.**

Los moldes y sus componentes merecen un estudio más detenido al ser la parte esencial del sistema.

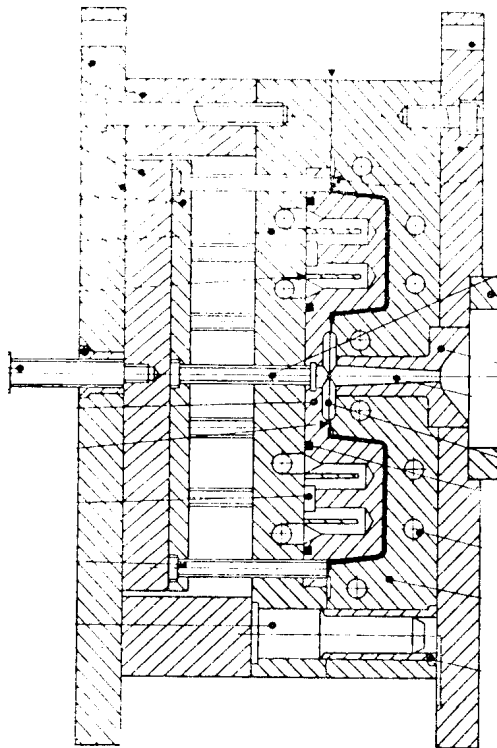
Los moldes constan de dos mitades que son fijadas mediante el sistema de anclaje ya mencionado. Un molde es una pieza sumamente complicada. Los moldes tienen varias partes diferentes que tienen una misión específica. Podemos hablar de cavidades, bebedero, canales, circuito de refrigeración, etc., y no entender bien que significa cada cosa. Por ello vamos a definir

cada parte para que no haya ninguna complicación.

A nuestro molde original de dos mitades que darán la forma deseada al material se le taladran unos canales de refrigeración para posibilitar el control de temperatura en el molde, además de acelerar el proceso de enfriamiento. también se le añaden clavijas de expulsión para desalojar la pieza de plástico una vez enfriada. Para unir la cavidad del molde con la boquilla se usa el **bebedero**. En los moldes de cavidades múltiples éstas están unidas por **canales**, canales donde el plástico fluye sin restricción alguna. Una estrecha constricción une el canal con la cavidad. Esta constricción se llama **entrada o puerta, en inglés "gate"**.

Los moldes son piezas que requieren una gran precisión, sus tolerancias son muy restrictivas. Por ejemplo, las lentes se hacen mediante moldeo por inyección, estas son piezas que

requieren una precisión altísima para conseguir el efecto óptico deseado. Los moldes para este fin tienen unas tolerancias increíbles, además de un control de temperatura exhaustivo para lograr la cristalización del material en su punto exacto. Esta es la mayor ventaja de los sistemas de inyección, su gran precisión.



Details of injection mould

El acabado superficial de los moldes es extremadamente importante, porque el fundido reproducirá cualquier defecto que haya en la superficie del molde. las tolerancias de rugosidades y acabado son muy importantes, lo que hace que el molde suba de precio y con ello la consecuente subida del artículo. Pero volviendo al ejemplo de las lentes, el procesado tradicional en cristal era aún mas caro que esta forma.

Otro aspecto importante en el diseño de los moldes es el material del que va a estar construido. Este material ha de tener ciertas características que se analizarán mas adelante.

Ahora continuaremos con el estudio de las partes del molde:

1. **Puertas o entradas:** son el orificio que conecta los canales con las cavidades del molde. Estas forman una unión muy fina, de fácil rotura al abrir el molde, lo que proporciona una fácil manera de separar la pieza final del resto de la colada. En algunos moldes esta rotura de las puertas se hace automáticamente al abrirse el molde. La puerta actúa como una válvula, que no permite escape del material cuando el husillo se retira. Esto pasa porque al tener muy poca cantidad de material, este se enfría antes solidificándose, lo que sella el conducto. Por regla general, se prefieren las puertas delgadas para no tener que mecanizar esta unión. En los sistemas con varias cavidades, las longitudes de los canales no pueden ser las mismas, llenándose unas antes y otras después, donde el fundido llega a menor presión. Para solucionar este problema se hacen puertas de distinto tamaño lo que tiende a igualar el llenado

de las cavidades. También se debe hacer esto en el caso de tener un molde con varias puertas, para obtener un flujo de llenado igual por cada una de ellas. Hay diferentes tipos de entradas, según el número y geometría de las piezas y del tipo de material a procesar. Podemos mencionar los siguientes, en los sistemas de colada fría (colada es: componente de la pieza inyectada que no forma parte de la pieza propiamente dicha.):

**Colada cónica, con o sin barra:** se utiliza en piezas con espesores de pared relativamente gruesos y para materiales de elevada viscosidad. La barra ha de separarse después del desmoldeo de la pieza.

**Entrada puntiforme o capilar:** se suele separar de forma automática. Tiene la forma de una pequeña cavidad lenticular en la superficie de la propia pieza.

**Colada de paraguas:** adecuada para la fabricación de cojinetes de fricción con precisión de redondez elevada, evitando al máximo la existencia de líneas de unión. Necesita mecanizado para eliminar la colada.

**Colada de disco:** para piezas cilíndricas unidas por el interior, sin líneas de unión residuales. la colada ha de ser mecanizada.

**Entrada laminar o de cinta:** para fabricar piezas planas con un mínimo de contracción y tensión.

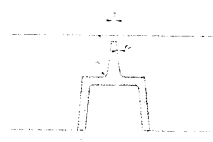


Figura 1.2 Colada cónica

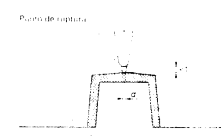


Figura 1.3 Entrada puntiforme (1 - 2%)

**Entrada de túnel o submarina:** la entrada es separada de la colada al abrir el molde o por medio de una arista cortante en el momento de expulsar la pieza. adecuada para la inyección lateral de piezas. Permite secciones muy pequeñas produciendo marcas casi invisibles en la pieza.

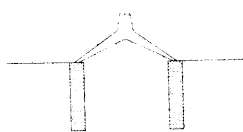
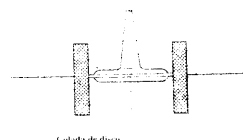


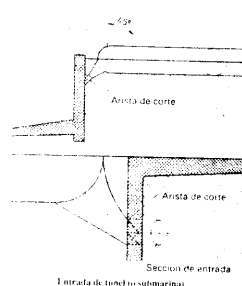
Figura 1.4 Colada de paraguas



Colada de disco



Figura 1.6 Entrada de cinta preferentemente para piezas de gran superficie



Entrada de túnel (o submarina)

2. **Canales:** es el camino que sigue el material fundido desde el bebedero hasta la cavidad del



molde. Su área debe ser pequeña para minimizar las pérdidas por transferencia de calor con el molde, evitando así que el material solidifique antes de llegar a la cavidad. Sin embargo, la sección debe ser grande para que presente la menor resistencia al flujo de material, pero no demasiado grande por lo anterior y además para que el tiempo de solidificación del canal no exceda el de la cavidad, lo que aumentaría el tiempo de ciclo. La eficiencia de un canal se puede medir realizando el cociente entre el área de su sección y el área total del canal. Hay dos sistemas básicos de canales: **sistema de canal saliente y sistema de canal frío.**

**Sistemas canal caliente:** se utilizan para la inyección sin colada de piezas termoplásticas o bien para sistemas de canal caliente parcial, o sea, con subdistribuidores, aprovechando las ventajas de estos. Presentan menores pérdidas de presión que los sistemas de solidificación, con ella se consiguen inyectar piezas mayores. La fabricación óptima de piezas en moldes de pisos solo es posible utilizando esta técnica. Se elimina el subdistribuidor con lo cual se aprovecha mejor el volumen de inyección y se reduce el tiempo de llenado. Este sistema no es necesariamente adecuado para todos los tipos de termoplásticos. Se averían más que los moldes convencionales. Han de estar preparados para el tratamiento de materiales con propiedades corrosivas y/o abrasivas. Es muy importante la regulación de temperatura en cada punto. Las boquillas de canal caliente abiertas favorecen el goteo. Después de abrir el molde el material puede expandirse a través de la entrada hacia la cavidad y formar allí un tapón que no será necesariamente licuado en la siguiente pieza. En casos extremos el tapón podría obstruir seriamente la entrada. Este problema se soluciona con ayuda de una descompresión del husillo de la máquina o también con la ayuda de una cámara de succión del material en el bebedero. Pero la descompresión puede causar la aspiración de aire atmosférico en la colada causando el efecto Diesel.

**Sistemas de canal frío:** se pueden elaborar materiales termoestables y elastómeros en moldes de canal frío sin mazarota, esto ahorra el material que antes se perdía en la mazarota. Un canal frío debe cumplir la finalidad de mantener los termoestables o elastómeros a un nivel de temperatura que evite la solidificación. Las exigencias a un sistema de canal frío son muy elevadas: el gradiente de temperatura en el sistema ha de ser lo más pequeño posible y el aislamiento térmico del molde y del canal han de ser óptimos para evitar la solidificación. Si surgen problemas de aplicación, el molde se ha de construir de forma que éstos puedan ser eliminados con el mínimo costo.

**Bebederos:** es el canal donde primero entra el fundido en el molde. Conduce el material desde la boquilla hasta los canales. El bebedero se hace de acero endurecido y tiene un ajuste perfecto con la boquilla de forma que ambos quedan sellados al juntarse.

**Ventanas de desgasificación:** cuando el molde expulsa una pieza y se prepara para ser inyectado nuevamente contiene aire. Si este aire no escapa, es comprimido por el fundido que entra, esto puede causar que el molde no se llene del todo. La peor consecuencia de tener aire es el calentamiento, este puede ser suficiente para quemar la superficie del plástico en sitios locales. Para solucionar esto, se incorporan canales de ventilación que permitan evacuar el aire al entrar el fundido. El canal de ventilación debe dejar pasar el aire pero no el fundido.

**Control de temperatura del molde:** para tener un proceso de moldeo eficaz debemos controlar la temperatura, esto se hace mediante un circuito de refrigeración construido en el



propio molde. Las altas temperaturas mejoran la calidad de la superficie y tiende a eliminar el vacío. Pero la posibilidad de quemado y la aparición de líneas de soldadura aumentan. Si el material está demasiado frío entonces puede solidificar antes de llegar a la cavidad.

El control de temperatura depende fuertemente del tipo de material a emplear. Para la transmisión térmica se utilizan agua o aceite, en el caso de los termoestables se pueden utilizar también un calentamiento con resistencias.

El control de temperatura afecta directamente a la calidad de las piezas y también su aprovechamiento (como en el ejemplo de las lentes). El tipo y la ejecución del gobierno de la temperatura influye en:

La deformación de las piezas. Válido sobre todo para materiales parcialmente cristalinos.

El nivel de tensiones propias en la pieza inyectada y su fragilidad. En caso de termoplásticos amorfos puede aumentar la formación de grietas por tensión.

El tiempo de enfriamiento y el tiempo de ciclo.

El efecto de la temperatura tiene gran influencia en la efectividad del molde. Este se puede decir que es el parámetro más importante a controlar en el procesado de los plásticos.

Para prevenir cualquier escape es necesario tener el molde bien cerrado. Para montar el sistema de cerrado debemos conocer la fuerza de cerrado que vamos a necesitar. Para ello es necesario ser capaz de estimar la fuerza de cerrado que será necesaria. La experiencia práctica sugiere que la fuerza ha de estar entre 10 y 50 MN/m<sup>2</sup> dependiendo de la forma, grosor y material de moldeo.

Esta es la expresión es la sencilla que estima la fuerza necesaria para el moldeo en un disco.

Con esto concluye el estudio de la unidad de moldeo de la máquina de inyección. Ahora vamos a comentar algunas de las aplicaciones de esta técnica.

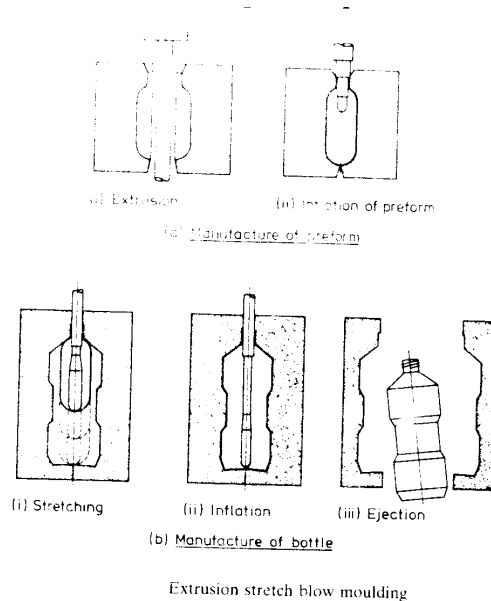
### **Moldeo por soplado.**

Se suele utilizar en la producción de objetos huecos. Consiste en la extrusión intermitente de un tubo o macarrón de longitud determinada que se aprisiona por dos semimoldes, cuya superficie corresponde al objeto deseado. Mediante la inyección de aire comprimido en el interior del macarrón, este se aplasta contra los moldes adquiriendo la forma y enfriándose seguidamente. El molde se abre y se expulsa el objeto y se repite el ciclo. 2/3 del ciclo se emplean en enfriamiento.

A diferencia de la extrusión-soplado, el moldeo por soplado consigue la orientación molecular que mejora las propiedades del material. Esta diferencia es por lo cual se ha incluido este proceso que era el mismo en ambos procesados. Los pasos del sistema se ven ilustrados a continuación:

las ventajas del moldeo por inyección son:

- \* Se asegura un espesor uniforme de la pieza.
- \* Es posible tener detalles en el cuello de botella.



### Moldeo centrífugo.

Al igual que el soplado ya sea por extrusión o por inyección, esta técnica se usa para producir objetos huecos, aunque con un mecanismo radicalmente diferente al de estas dos técnicas.

En esta modalidad se introduce cierta cantidad de polímero fundido, muy cuidadosamente pesado, en un molde rotativo, que gira alrededor de su eje de simetría, con lo que el material se adapta a la superficie del molde cilíndrico, enfriándose seguidamente y siendo expulsado longitudinalmente.

Las ventajas de este sistema son las siguientes. Primero, desde que es un sistema de baja presión los moldes son mas baratos y menos complicados. Además, las piezas tienen un espesor muy uniforme, pueden tener refuerzo, no tiene tensiones residuales y pueden ser mecanizadas si se quiere.

Se puede aplicar a todo tipo de plásticos. Esta técnica puede producir artículos muy gruesos que ninguna otra técnica puede producir. Se utiliza para la producción de tubos cilíndricos de gran diámetro entre otras aplicaciones.

### Moldeo por inyección de espumas.

Los termoplásticos espumosos se hacen dispersando algún gas inerte en la resina fundida directamente antes del moldeo. generalmente se usa nitrógeno como gas.

Cuando la mezcla gas comprimido-resina es rápidamente inyectada en la cavidad del molde, el gas se expande explosivamente y fuerza al material a expandirse también.



Las ventajas de este tipo de espumado son:

1. Para un peso dado son muchas veces mas rígidos que un moldeo sólido.
2. No tienen efectos de orientación y el encogido es uniforme.
3. Secciones muy gordas pueden ser moldeadas sin líneas de soldadura.

Artículos de plásticos espumosos pueden ser producidos usando máquinas de inyección. Las limitaciones en el tamaño del "shot", la velocidad de inyección y el área del cilindro impuestas por los equipos convencionales de inyección impiden el proceso a gran escala de este tipo de productos.

Las secciones de las paredes son mas gruesas que en el moldeo de materiales sólidos. Luego los tiempos de ciclo son mayores. Por contrapartida, las presiones son menores que en la inyección de material sólido. Esto significa que se necesitan menores fuerzas de cerrado de los moldes, lo que se traduce en materiales mas baratos para los moldes.

## **Calandrado.**

Es un proceso de transformación destinado a la fabricación de láminas y placas continuas de materiales termoplásticos o elastómeros. Consiste en hacer pasar el material plastificado entre varios cilindros que proporcionan una lámina bruta, que luego se ajusta y se refina en otros cilindros de calibración, enfriamiento, corte y recogida.

Los primeros avances en esta técnica se produjeron a mitad del siglo XIX cuando fue utilizado para mezclar aditivos con los elastómeros. Las siguientes aplicaciones fracasaron debido a que estas máquinas no tenían la suficiente precisión en el control de temperatura y del entrehierro lo que es indispensable para obtener un producto de buena calidad.

Este es un proceso de tipo continuo como la extrusión. Los filmes producidos pueden ser cortados a diferentes tamaños. el espesor es controlado mediante la anchura del entrehierro.

La alimentación puede hacerse en forma de masa fundida (PEBD) o en forma de cordón continuo de producto plastificado (PVC) que es pasado previamente por una extrusora. También se usa una masa gelatinizada preparada en una malaxadora junto con agentes estabilizadores, plastificantes y demás aditivos.

Para la compresión de un film se requieren presiones elevadas y convenientemente aplicadas. Si no se controla bien este parámetro o el de refrigeración podemos producir variaciones en los espesores del film inaceptables. Las causas mas frecuentes son la holgura de los cojinetes y las deformaciones producidas a los cilindros.

Los rodillos de las calandras tienen conductos interiores por donde circula el caudal de refrigeración o el de calefacción según sea el trabajo del rodillo.

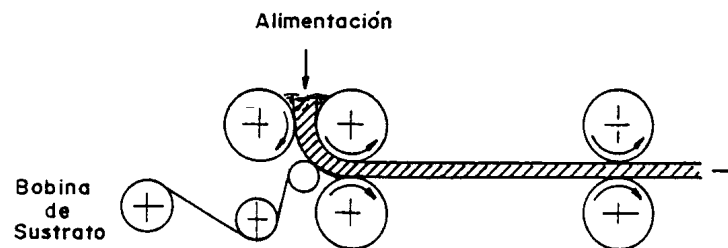
Hoy en día el calandrado tiene una precisión sorprendente ( $\pm 0,005$  mm), pero para alcanzar esto es imprescindible tener un control muy fuerte de la temperatura de los rodillos, además de su velocidad y por supuesto su separación.

Como el calandrado es un proceso continuo de fabricación de filmes y láminas, entra en competición directa con la extrusión. En general, los procesos de extrusión son más usados en materiales como polietileno, polipropileno y poliestireno pero el calandrado es preferido para materiales que son susceptibles de degradación térmica como el PVC.

### Perfiles de presiones y velocidades.

La masa del polímero es aprisionada y obligada a pasar entre los rodillos, sufriendo un efecto de laminación e inmediato enfriamiento, esto se realiza en el par de rodillos siguientes.

Este tipo de materiales tienen un comportamiento viscoplástico, por lo tanto el espesor de la lámina a la salida será mayor que la holgura del entrehierro. Esto supone un ángulo de contacto adicional por debajo del plano definido por los ejes de los rodillos, con un avance  $z_s$ , según la figura:



### Recubrimiento por calandrado.

Las calandras son máquinas muy adecuadas para el recubrimiento de sustrato o soportes de varios tipos. El sistema es muy sencillo, se introduce el sustrato por los rodillos a la vez que el material plástico fundido, luego se enfría y listo.

Esta técnica se usa mucho para decoración de filmes con dibujos. Los rodillos son estampados con un dibujo y con tintas de colores con lo cual se consigue un dibujo repetitivo a lo largo del material.

### Termoconformado.

Esta técnica se basa en la propiedad de los termoplásticos de reblandecerse con el aumento de temperatura. Consiste en calentar una lámina o film semielaborado de material y someterlo a un calentamiento lo más uniforme posible; seguidamente se le aplica o presión o se hace vacío, con lo que el material adopta la forma del molde.

Esta técnica, hace unos años, solo se usaba para el empaquetado debido a las limitaciones como la mala distribución del espesor del recubrimiento y el gran desperdicio de material. Con los avances técnicos de hoy en día, el termoconformado se utiliza para otras muchas aplicaciones.





El termoconformado es el procedimiento mas utilizado en la producción de piezas de gran superficie, de paredes delgadas y en series que no deben ser muy grandes.

Para este proceso se necesitan materiales que reúnan características como un bajo calor específico que favorezca el calentamiento y enfriamiento rápido y una buena conductividad térmica que favorezca la uniformidad de la temperatura en toda la plancha.

Hay dos variantes principales del termoconformado:

1. **Conformado por vacío.** En este proceso, el material es calentado hasta alcanzar la plasticidad necesaria y luego es moldeado reduciendo la presión entre el material y el molde. Para calentar el material se usan calentadores de infrarrojo. La clave del termoconformado es alcanzar una temperatura uniforme del material. La mayor ventaja de esta técnica de vacío es que, al ser el conformado a presión atmosférica los moldes no han de ser muy robustos, lo que disminuye su precio y alarga su vida. El material que se impone es el aluminio, debido a su buena conductividad, facilidad de mecanizado, puede ser muy bien pulido y su vida es casi infinita. Los materiales mas usados son poliestireno, ABS, PVC, acrílico, policarbonato, PP y PEBD, PEAD.

2. **Conformado a presión.** Similar al anterior pero en vez de aplicar vacío entre el molde y el material se aplica presión encima del material. La ventaja es que pueden usarse mayores presiones para conformar la lámina o el film de material, esto permite un mayor control de la presión con el tiempo.

### Aditivos.

La viscosidad del material termoplástico tratado tiene una gran importancia. Esta tiene una gran influencia en la productividad y en los productos del procesado. El rozamiento de la masa fundida con las superficies metálicas de las máquinas de transformación es una variable muy importante ya que condiciona la facilidad de plastificar que tiene el polímero en cuestión. El flujo del material fundido también depende de este rozamiento.

La viscosidad disminuye con el incremento de la temperatura, luego si trabajamos a temperaturas mas elevadas podríamos solucionar el problema. Esto añade el problema de la poca estabilidad térmica de los polímeros. Como sabemos estos no deben superar ciertos niveles térmicos porque sino se deterioran. Por ejemplo, el PVC no puede ser trabajado a mas de 170°C sino se descompone.

En otros casos se puede tratar con polímeros que al descomponerse producen sustancias altamente corrosivas que pueden deteriorar las máquinas con las que trabajamos. Vuelve a ser el caso del PVC que cuando se calienta produce Cl de gran actividad que termina formando Hcl por sustracción atómica de átomos de hidrógeno de la cadena polimérica.

Todos estos problemas tienen por solución la actuación de unas sustancias que mejoran las propiedades de los compuestos orgánicos que son objetos del procesado.

Estas sustancias se llaman comúnmente aditivos. Los aditivos, por lo general, son sustancias que se introducen en los polímeros con la finalidad de mejorar alguna de sus



propiedades. Hay varios tipos de aditivos, pero nosotros vamos a centrarnos en los que se utilizan en los procesos de transformación.

Estos son de dos tipos:

**Aditivos que mejoran el procesado:** son los **estabilizantes y antioxidantes térmicos**. Su misión es la inhibir las reacciones de descomposición y dificultar la oxidación a alta temperatura. Estos consiguen ampliar el rango de temperaturas a las que se puede trabajar estos materiales, pudiéndolos transformar sin ningún problema. Los mecanismos de actuación de estos aditivos pueden ser alguno de los siguientes:

1. Producen radicales inactivos que interrumpen la propagación de la cadena de reacciones degenerativas radicalarias. es el caso de los aditivos de tipo fenólico, como el TBP (terbutilfenol) y el BHT (butilhidroxitolueno) entre otros.

2. Descomponen los peróxidos e hidroperóxidos que provocan las reacciones de oxidación. Así actúan los estabilizantes a base de sulfuros, tióteres, fosfitos, y fosfonatos orgánicos, etc.

3. Quemán los metales presentes que catalizan las reacciones de oxidación y, en general, de tipo degenerativo. Pueden ser de muy diferente constitución: fosfinas, fosfitos, oxamidas, etc.

Especial importancia tiene el polímero PVC que produce como dijimos antes muchos problemas, tanto por su degradación como por su emisión de Cl activados. Algunos de los estabilizantes del PVC solo se limitan a neutralizar el ácido producido para evitar la corrosión. Ejemplos son el carbonato y el fosfato básico de plomo. Otros actúan previamente sustituyendo los átomos hábiles de cloro por radicales orgánicos, como la mercaptida de estaño, los carboxilatos de bario y cadmio, etc.

La segunda clase de aditivos son los **lubricantes**. Estos tienen como objetivo facilitar la circulación del polímero fundido, disminuyendo la adherencia y el rozamiento en su superficie exterior o bien en su masa. Pueden ser **externos**, cuando actúan sobre las propiedades de la superficie o **internos** cuando actúan tanto en caliente como en frío. Son muy poco compatibles con el polímero base, aunque hayan sido bien mezclados y dispersados en la masa del polímero, emigran a la superficie, donde forman una película lubricante. se dice que son exudados también.

Las sales metálicas de los ácidos grasos son poco compatibles con todos los polímeros, se adhieren bien a los metales y reducen el coeficiente de rozamiento, por ello son usados como lubricantes externos. Las ceras se utilizan con los polímeros viscosos para facilitar el flujo del material fundido.

Dada su extensión no profundizaremos en el tema aunque desde estas líneas hacemos notar la gran importancia como lubricante que tienen los polímeros.