

Procesado de Termoplásticos



Clase 6 – Introducción a la extrusión



Prof. Ing. Quim. Pablo Raimonda
praimonda@fing.edu.uy

Objetivo

Introducir al alumno en el procesamiento de termoplásticos empleando como excusa uno de los equipos básicos y más simples, la extrusora.

Índice

- Repaso de la clase anterior
- Introducción
- Definición
- Descripción del proceso
- Partes del equipo
 - Tolva
 - Barril
 - Usillo
 - Sistema de Calentamiento
 - Cabezal
 - Filtros
- Extrusión de películas
- Extrusión de perfiles
- Extrusión de cables
- Extrusora doble Husillo

Procesos de transformación en polímeros (Ejemplos)

Extrusión

Inyección

Soplado

Termoformado

Calandrado

Sinterizado

Recubrimiento

Inmersión

Clasificación de los procesos de Moldeo

- Una clasificación de los procesos de transformación se basa en los cambios del estado que sufre el plástico dentro de la maquinaria. Así, podemos encontrar la siguiente división:
 - Procesos Primarios
 - Procesos Secundarios
- En el primer caso, el plástico es moldeado a través de un proceso térmico donde el material pasa por el estado líquido y finalmente se solidifica, mientras que en los procesos secundarios se utilizan medios mecánicos o neumáticos para formar el artículo final sin pasar por la fusión del plástico .

Clasificación de los procesos de Moldeo I

Primarios	Secundarios	
Extrusión	Inmersión	Doblado
Inyección	Rotomoldeo	Corte
Soplado	Compresión	Torneado
Calandrado	Termoformado	Barrenado

Extrusión

Versión “on line” consultada el
2015-04.03

Definición RAE

1. f. Acción y efecto de extrudir.

Extrudir

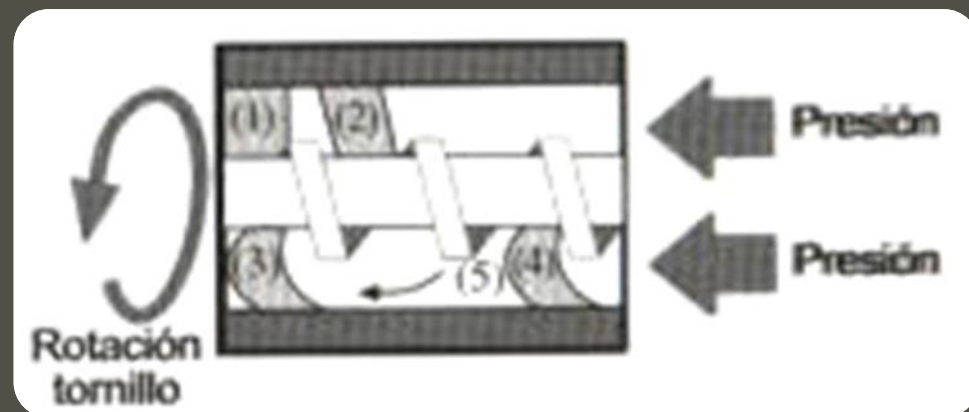
Del lat. *extrudĕre* 'arrojar a empujones', 'echar violentamente hacia fuera'.

1. tr. Tecnol. Dar forma a una masa metálica, plástica, etc., haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta.

Extrusión de Termoplásticos

En la extrusión de termoplásticos, el polímero se funde dentro de un cilindro y posteriormente, es enfriado.

Este proceso, que es normalmente continuo, tiene por objetivo usarse para la producción de perfiles, tubos, películas plásticas, hojas plásticas, etc.



Algunos Ejemplos

Productos obtenidos por extrusión

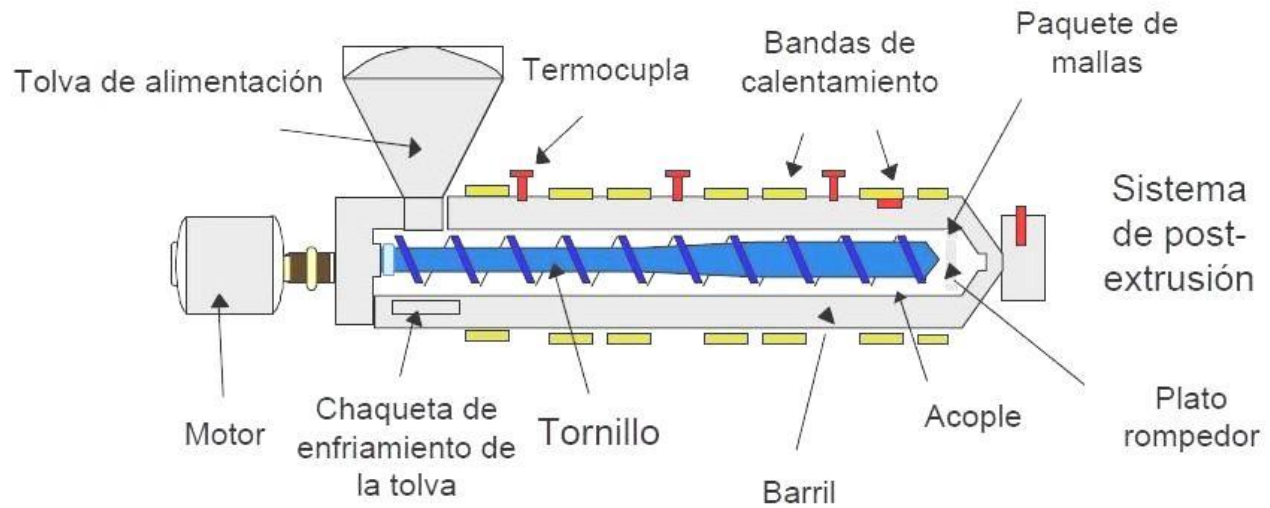
- **Película tubular:** bolsas, película plástica
- **Tuberías:** caños para conducción de agua y drenaje
- **Recubrimiento:** cables para uso eléctrico, redes de PC y teléfono.
- **Perfiles:** hojas para persianas, ventanas, canales de flujo de agua.
- **Lámina y película plana:** rafia, manteles para mesa, cinta adhesiva, fleje para embalaje.
- **Monofilamento:** filamentos, alfombra (filamento de la alfombras)
- **Pelletización y fabricación de compuestos**

Descripción del proceso

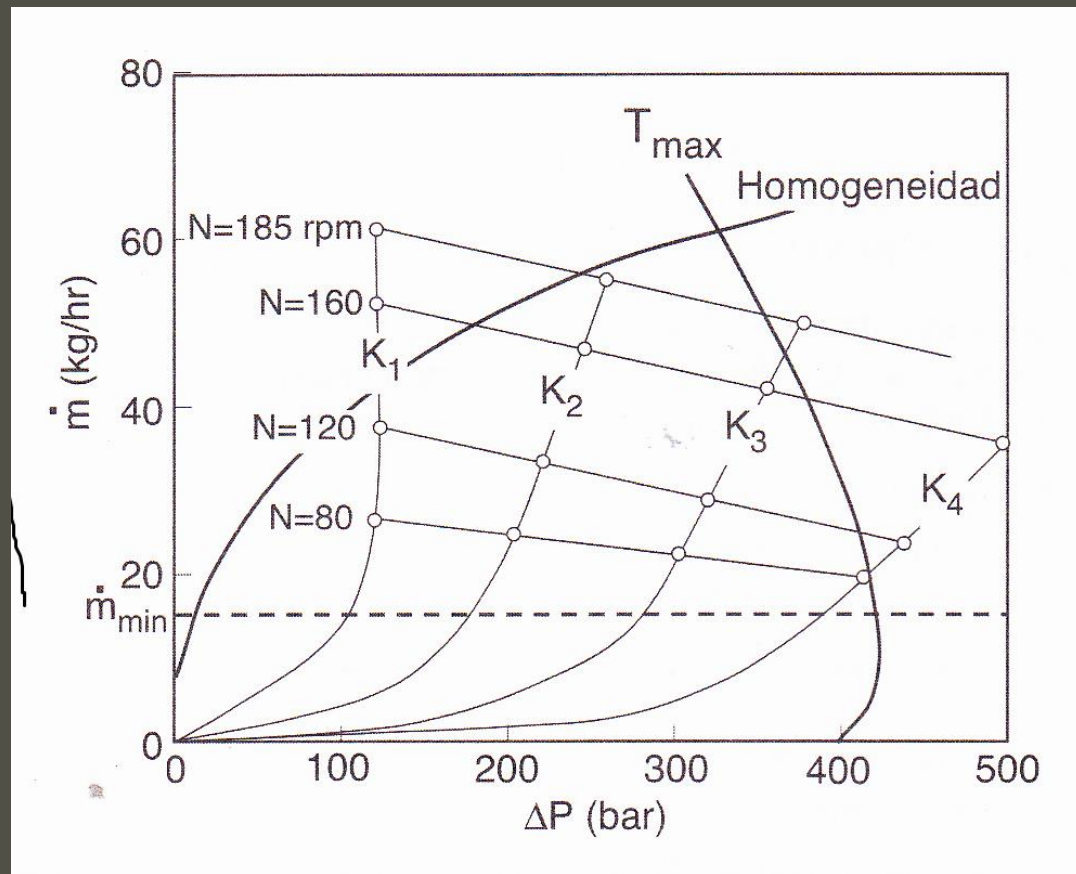
- ✓ Dentro del proceso de extrusión, deben identificarse varias partes con el fin de comprender sus funciones principales, saber sus características en el caso de elegir un equipo y detectar donde se puede generar un problema en el momento de la operación.
- ✓ La extrusora consta de:
 - ✓ un eje metálico central con alabes helicoidales llamado husillo o tornillo,
 - ✓ un cilindro metálico revestido con una camisa de resistencias eléctricas,
 - ✓ en un extremo del cilindro se encuentra un orificio de entrada de materia prima donde se instala la tolva de alimentación,
 - ✓ en ese mismo extremo se encuentra el sistema de acondicionamiento del tornillo compuesto de motor y sistema de reducción de velocidad,
 - ✓ en la otra punta del tornillo se ubica la salida del material y la pieza que forma finalmente al plástico,

Esquema del Equipo

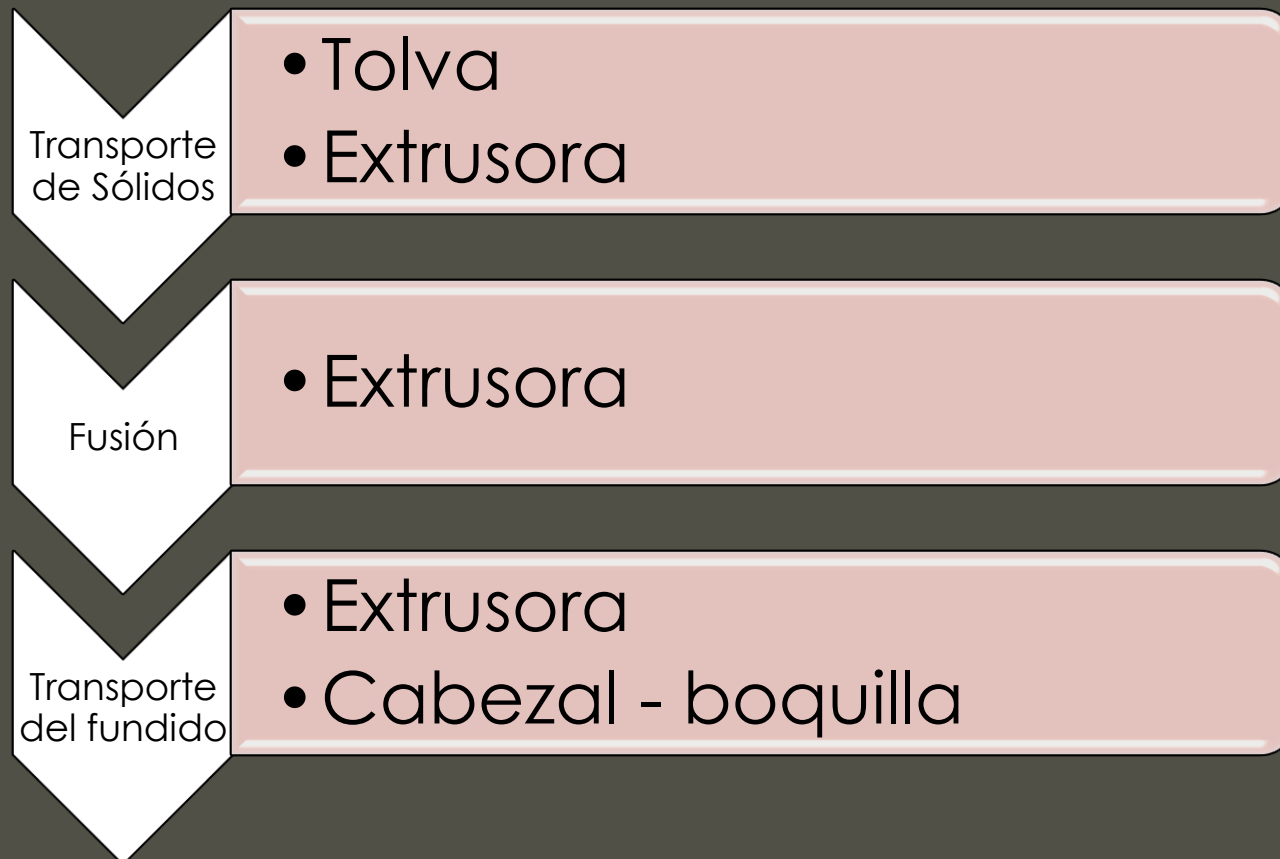
Diagrama de una extrusora



Curvas características del usillo



Esquema del proceso



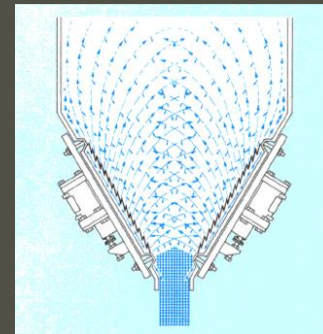
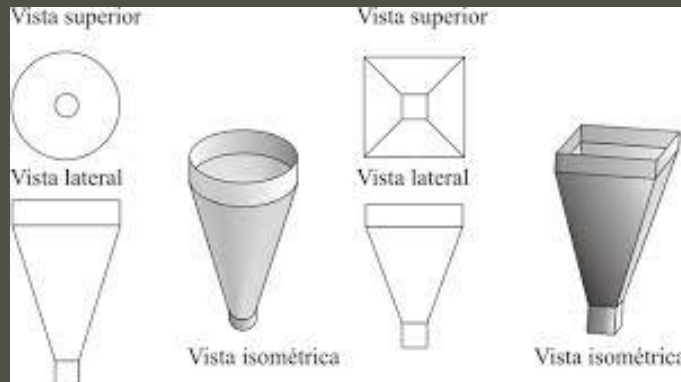


Descripción del equipo

Tolva de alimentación



- La tolva es el deposito de materia prima en donde se colocan los pellets de material plástico para la alimentación del equipo.
- Debe tener dimensiones adecuadas para ser completamente funcional; los diseños mal planeados, principalmente en los ángulos de bajada del material, pueden provocar estancamientos de material y paros en la producción.



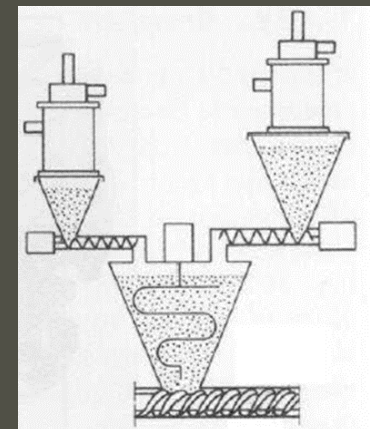
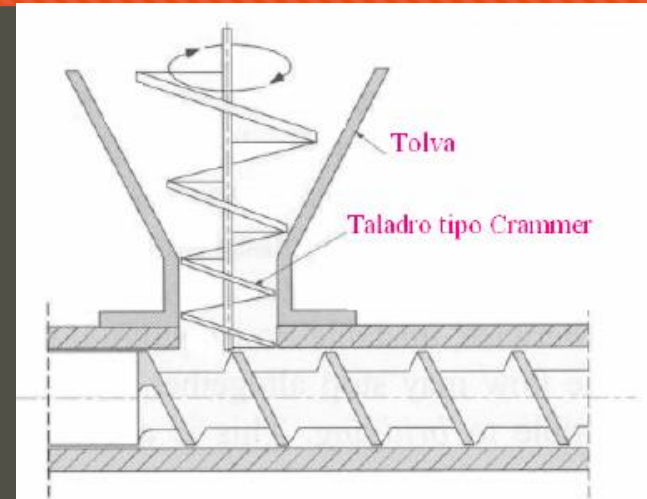
- En materiales que se compactan fácilmente, una tolva con sistema vibratorio puede resolver el problema.

Tolva de alimentación I



Si el material a procesar es problemático:

- Tolva tipo crammer.
- Las tolvas de secado son usadas para la eliminación de la humedad del material que está siendo procesado.
- En sistemas de extrusión con un mayor grado de automatización, se cuenta con sistemas de transporte de material desde contenedores hasta la tolva, por medios neumáticos o mecánicos.
- Otros equipos auxiliares son los dosificadores de aditivos a la tolva y los imanes para la obstrucción del paso de materiales ferrosos, que puedan dañar el tornillo y otras partes internas del extrusor.



Barril o cañón



- Es un cilindro metálico que aloja al tornillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión, conforma, junto con el tornillo, la cámara de fusión y bombeo de la extrusora. El cañón debe tener una resistencia al material que este procesando.
- La dureza del cañón se consigue utilizando aceros de diferentes tipos y cuando es necesario se aplican métodos de endurecimiento superficial de las paredes internas del cañón.
- El cañón cuenta con resistencias eléctricas que proporcionan una parte de la energía térmica que el material requiere para ser fundido. El sistema de resistencias en algunos casos va complementado con un sistema de enfriamiento, que puede ser de flujo de líquido o por ventiladores de aire.
- Todo el sistema de calentamiento es controlado desde un tablero , donde las temperaturas se establecen en función del tipo de material y del producto deseado.
- Para mejor conservación de la temperatura a lo largo del cañón y prevenir cambios de la calidad de la producción por variaciones en la temperatura ambiente, se acostumbra aislar el cuerpo del cañón con algún material de baja conductividad térmica como la fibra de vidrio o el fieltro

Material para la constitución del cañón

1. Máxima durabilidad
2. Alta transferencia de calor

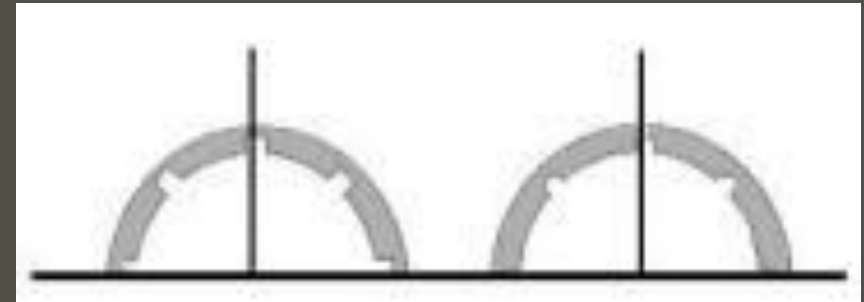
3. En la fabricación de cilindros de extrusión tales exigencias logran ser cubiertas utilizando materiales tales como: Xaloy 101 (para extrusoras de propósito general, procesamiento de PEAD y PEBD), Xaloy 800 (para el procesamiento de PELBD), o Xaloy 306 (para productos corrosivos, como copolímeros ácidos).

Algunos comentarios más

Cilindros con zonas acanaladas

Son cilindros de extrusión que poseen una superficie interna con canales de formas específicas. Zonas acanaladas ubicadas en la etapa de alimentación de los cilindros de extrusión, favorecen el procesamiento de resinas de bajo coeficiente de fricción (Ej.: PEAD y PP).

Existe un variado diseño de zonas de alimentación acanaladas. Los canales de sección cuadrada maximizan el volumen de material alimentado

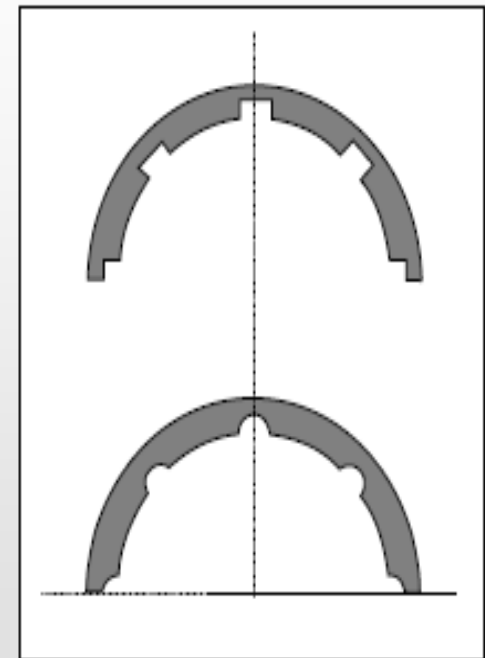


Las zonas de alimentación acanaladas permiten controlar el coeficiente de fricción polímero-cilindro mediante la geometría, reduciendo la sensibilidad con respecto a la temperatura y las propiedades termodinámicas de las resinas. Por otro lado, estas zonas permiten incrementar el volumen de la sección de alimentación, acelerando la fusión y aumentando el caudal de extrusión.

Ejemplos de canales de extrusión

■ Características:

- Ancho del canal 0,15 a 0,3 pulgadas.
- Profundidad inicial de los canales: 0,12 a 0,37 pulgadas
- N° de canales: 8 a 18 canales dependiendo del material.

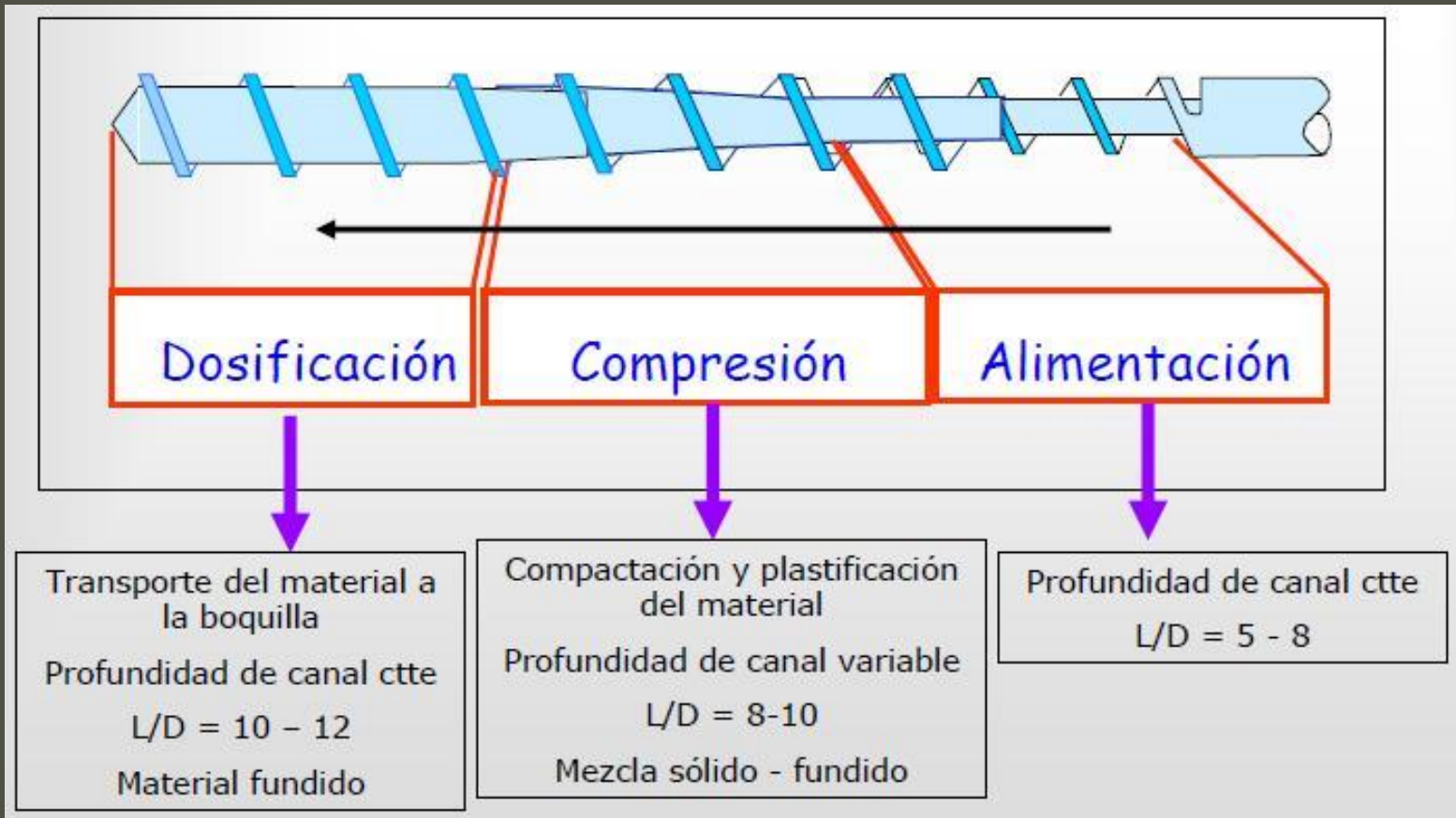


Recuerde: 1 Pulgada=2.54 Centímetros

Husillo o tornillo

- ✓ Gracias a los intensos estudios del compartimiento del flujo de los polímeros, el husillo o tornillo ha evolucionado ampliamente desde el auge de la industria plástica hasta el grado de convertirse en la parte que contiene la mayor tecnología dentro de una máquina de extrusión.
- ✓ Por esto, es la pieza que en alto grado determina el éxito de una operación de extrusión. Lo cual se detallará mas adelante

Husillo Zonas



Husillo Tipos

Variación de los tornillos para diversas resinas y aplicaciones

Tornillo para polietileno



Tornillo para materiales fríos



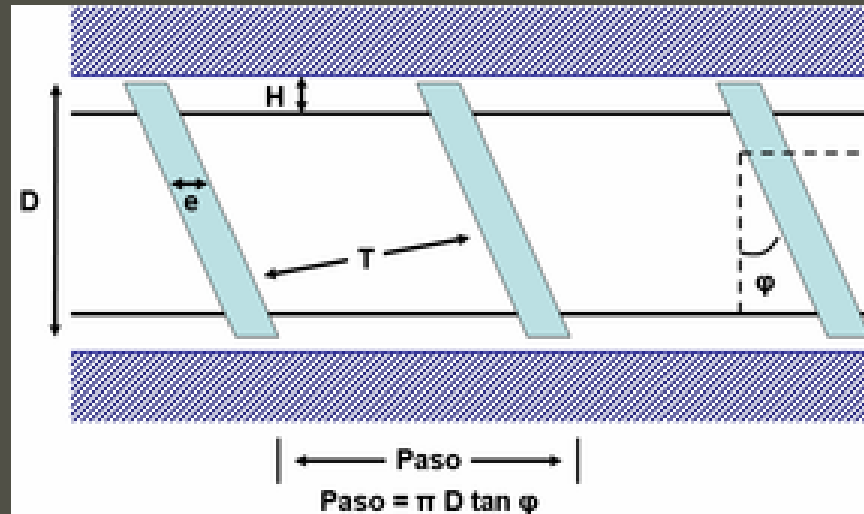
Tornillo utilizado en industria alimenticia



Flujo del material



Modelo de plastificación del husillo



Vamos a Resolver en forma simultánea las ecuaciones de:

- Transferencia de Cantidad de Movimiento
- Energía en procesos no isotérmicos
- Teniendo en cuenta que trabajamos con fluidos compresibles y no newtonianos

Términos de Viscosidad

Para todo fluido Newtoniano sabemos que:

$$F = \eta A \frac{dv}{dy}$$

Gradiente de
velocidades

Fuerza

Superficie

Viscosidad
absoluta o
dinámica

Términos de Viscosidad

De donde:

$$\sigma = \eta \, dv / dy$$

Gradiente
de
velocidades

Fuerza/Área
(Esfuerzo de
cizalla)

Viscosidad
absoluta o
dinámica

Material	Visc. De Cizalla en Pa.s
Vidrio Fundido 550°C	10^{12}
Polímeros Fundidos	10^5
Jarabes	10^1
Glicerol	10^{-1}
Aceite de Oliva	10^{-2}
Agua	10^{-3}

Fluidos no Newtonianos

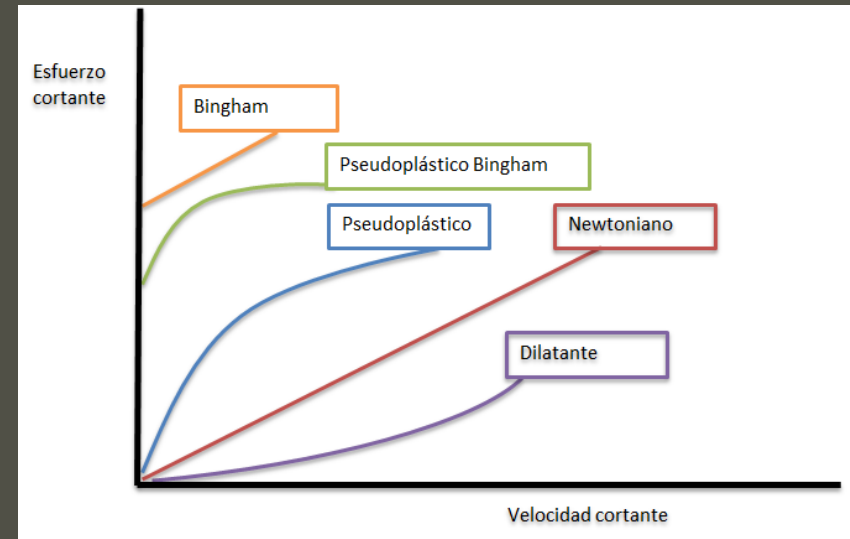
Tenemos:

$$\sigma \neq \eta \, dv / dy$$

Gradiente de velocidades

Fuerza/Área
(Esfuerzo de cizalla)

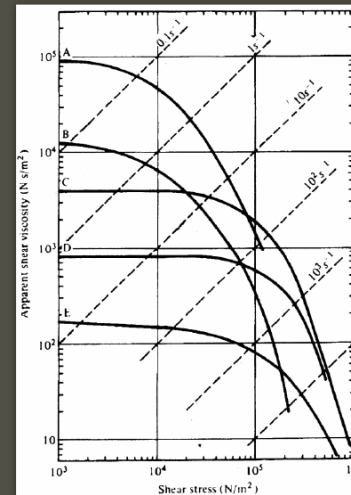
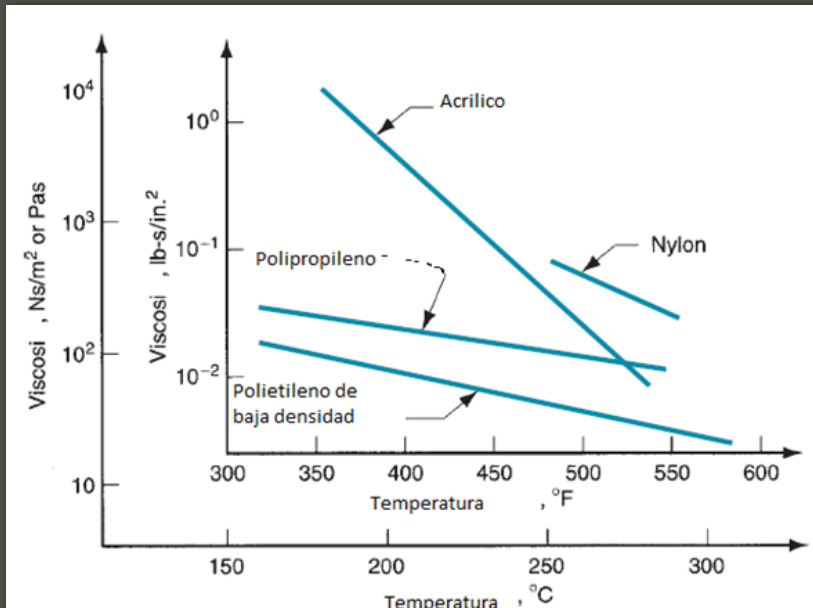
Viscosidad absoluta o dinámica



Ejemplos

- **Dilatante:** *La viscosidad aumenta al aumentar la velocidad. Son raros, ciertas suspensiones de PVC son ejemplo de ello.*
- **Pseudoplásticos:** *reducen su viscosidad con el aumento de la velocidad de deformación, algunos de los polímeros fundidos y sus disoluciones.*
- **Plásticos.** *Se comportan como sólidos elásticos, almacenado cierta cantidad de energía, cuando se los somete a esfuerzos menores que cierto umbral, ejemplos: pasta de dientes, mermelada, etc.*
- **Tixotrópicos:** *la viscosidad disminuye con el tiempo de aplicación de la cizalla. Ejemplos, pinturas, adhesivos y muchos polímeros fundidos.*

Polímeros fundidos



Viscosity data for polymer melts:

- A - LDPE (170 °C)
- B - Propylene-ethylene copolymer (230 °C)
- C - Acrylic (230 °C)
- D - Acetal copolymer (200 °C)
- E - Nylon 6,6 (285 °C)

From P C Powell, A Jan Ingen Housz (1998) *Engineering with polymers*, Stanley Thorne (Publishers) Ltd.

Antes de seguir



Calentamiento del Cilindro



- El calentamiento del cilindro se produce, casi exclusivamente mediante resistencias eléctricas.
- El sistema de calentamiento de la extrusora es responsable de suministrar entre un 20 a un 30 % del calor necesario para fundir el material.
- Para suministrar el calor requerido, el calentamiento suele ser de 25 a 50 vatios/in² (38750 a 77500 W/m²)

Nota: vatio = watt (símbolo W). 1w/in²=1550w/m²

Sistema de enfriamiento del Cilindro



- Cada zona de calentamiento del tornillo de la extrusora está acompañada, en la mayor parte de los equipos comerciales, de un ventilador el cual permite el control de la temperatura eliminando calor de la extrusora
- Los ventiladores son accionados por controladores de temperatura que comandan la operación de los calefactores eléctricos.
- Los ventiladores entran en operación cuando la temperatura de una zona supera el punto prefijado, por efecto de:
 - La transferencia excesiva de calor por parte de la resistencia (Ejemplo: Durante el arranque de la máquina).
 - La generación excesiva de calor por parte de los elementos de mezclado presentes en el tornillo de la extrusora.

Temperatura en la etapa de alimentación

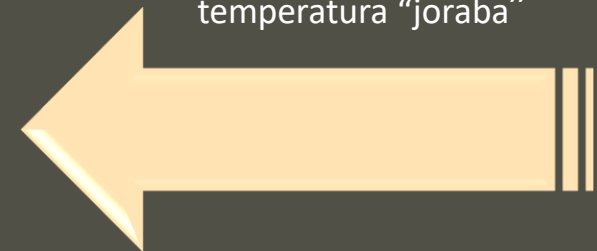
- Sistema de enfriamiento de la garganta: Con la mayor parte de los materiales poliméricos, y en especial las poliolefinas, es necesario mantener la temperatura de la zona de alimentación al tornillo, conocida como "garganta de alimentación", al menos a 50°C por debajo de la temperatura de fusión del polímero. Una temperatura muy baja en la zona de alimentación impide que la fusión de la resina produzca la adhesión de la misma a la superficie del tornillo; minimizando el flujo de material por arrastre, y por lo tanto, el caudal extruido.
- Generalmente, el uso de agua corriente permite mantener la temperatura de la garganta en los límites deseados ($T_m - 50^{\circ}\text{C}$); sin embargo, en ambientes calientes y con equipos de alto caudal de producción puede requerirse el uso de agua enfriada en torres de enfriamiento o incluso, refrigerada.

Temperatura de Masa

Es importante mantener la temperatura de la masa, antes de la entrada al cabezal, en un nivel bajo. Para un procesamiento inmejorable con un tornillo de barrera, el perfil de temperatura de las zonas de la extrusora debe ser del tipo "joroba" ("humped").

Zona Nº 1	Zona Nº 2	Zona Nº 3	Zona Nº 4
180	240	220	220

Ejemplo de perfil de temperatura "joroba"



Tener en cuenta que cada diseño de tornillo es diferente por lo que el perfil de temperatura para cada caso determinado debe establecerse para lograr los mejores resultados. Igualmente se debe tener siempre en cuenta que la temperatura de la última zona no debe ser menor que la temperatura de fusión del material, porque el polímero se solidificará en la camisa de la extrusora si el tornillo deja de operar

¿Cuál es el por qué?

**How Plastic Melts
and Flows**

Copyright © 2013 Paulson Training Programs, Inc.



Motor

- El motor de la extrusora es el componente del equipo responsable de suministrar la energía necesaria para producir: la alimentación de la resina, parte de su fusión (70 a 80%), su transporte y el bombeo a través del cabezal y la boquilla.
- Los motores incorporados en las líneas de extrusión son eléctricos y operan con voltajes de 220 y 440 V.
- Existen extrusoras que emplean motores DC (corriente continua), ya que permiten un amplio rango de velocidades de giro, bajo nivel de ruido y un preciso control de la velocidad.
- Se recomienda que la potencia de diseño sea de 1 HP por cada 10 a 15 lb/h de caudal, sin embargo para las aplicaciones de alto requerimiento de mezclado esta relación puede llegar a ser de 1HP por cada 3 a 5 lb./h.
- La velocidad alcanzada por los motores resulta más elevada que la requerida por el tornillo. Las cajas reducen la velocidad hasta en un 20:1.

NOTA: 1 libra = 453,6 gramos

Cabezal

El componente de la línea denominado cabezal, es el responsable de conformar o proporcionar la forma del extrudado.

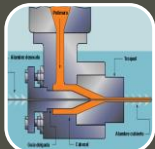
Componentes básicos de un cabezal de extrusión:

1. Plato rompedor

Función del Cabezal



Proporciona una velocidad de flujo uniforme al material



Proporciona un fundido uniforme en toda la sección



Debe inducir historia de deformación constane

Plato rompedor y filtros (Breaker - Plate)



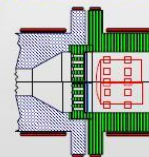
- El plato rompedor es el primer elemento del cabezal destinado a romper con el patrón de flujo en espiral que el tornillo imparte; mientras que la función de los filtros es la de eliminar del extrudado partículas y/o grumos provenientes de impurezas, carbonización, pigmentos y/o aditivos, etc.
- En lo que respecta a su diseño, el plato rompedor no es más que una placa cilíndrica horadada. Por otro lado, las mallas deben ser fabricadas con acero inoxidable.

PLATO ROMPEDOR



- ✓ Cambia flujo en espiral a flujo axial
- ✓ Aumenta la presión de retroceso: ↑P

PAQUETE DE MALLAS



- ✓ Elimina impurezas: geles, carbón, pigmentos, otros.

Plato rompedor y filtros I (Breaker - Plate)

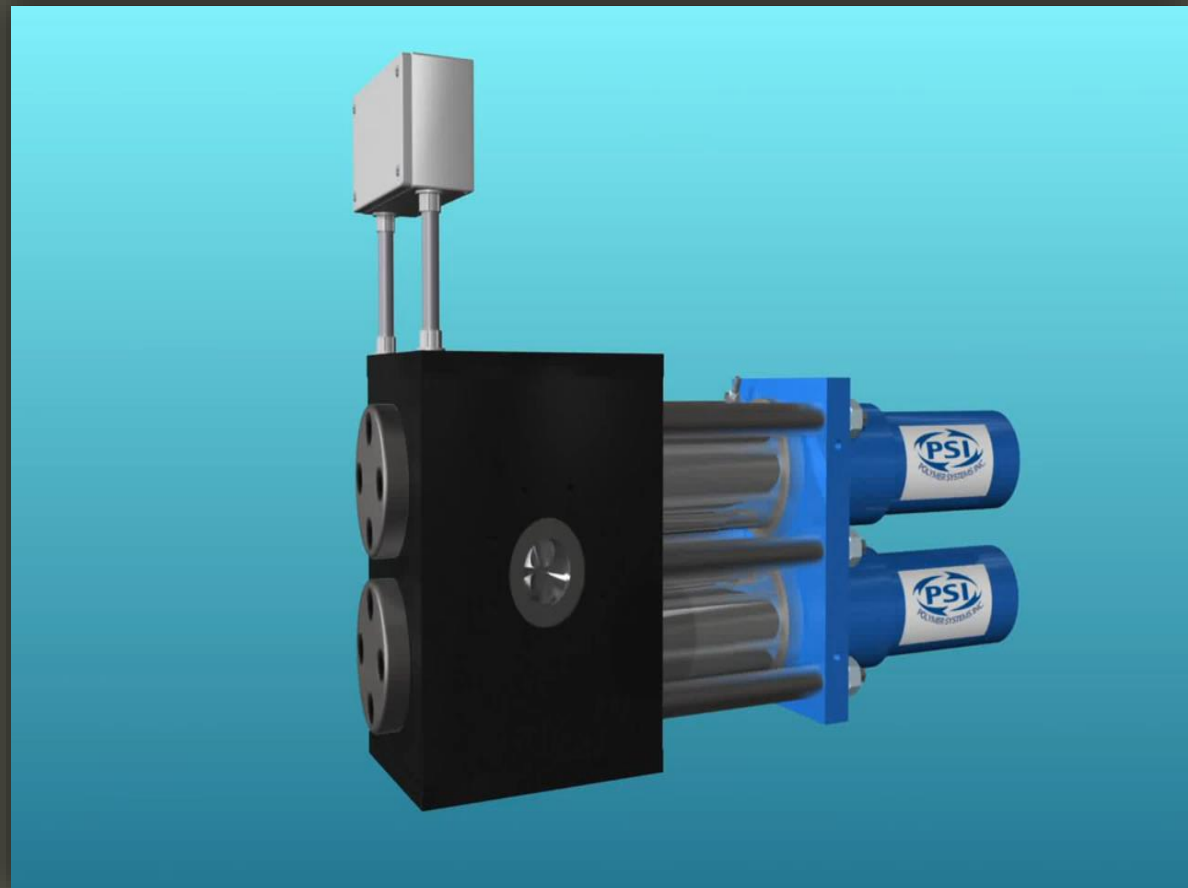


Un paquete de filtros (Screen-Pack) típico podría consistir de mallas 20/40/60. Sin embargo este arreglo varia de acuerdo al material que se este procesando, del proceso a realizar y de la longitud del tornillo



Las mallas filtrantes para extrusión están constituidas por hilos metálicos tejidos de trama ajustada, dependiendo del tipo de trama y diámetro del hilo dependerán su poder filtrante. Los hilos metálicos pueden estar constituidos de acero galvanizado, acero al cromo, acero al cromo-níquel, acero al cromo-níquel-molibdeno, titanio, etc

Cambio de Filtro (Change of Breaker - Plate)



Acople de Cabezal

Husillo

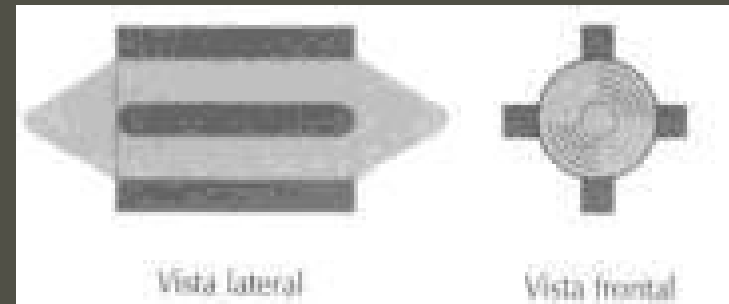
Consideraciones de Diseño

Plato Rompedor



TORPEDO:

Algunos cabezales de extrusión suelen presentar en el ducto de acople entre la extrusora y el cabezal, un elemento que contribuye con la función del plato rompedor (modificar el patrón de flujo en espiral a uno longitudinal). Por su geometría, a este dispositivo se le suele denominar torpedo

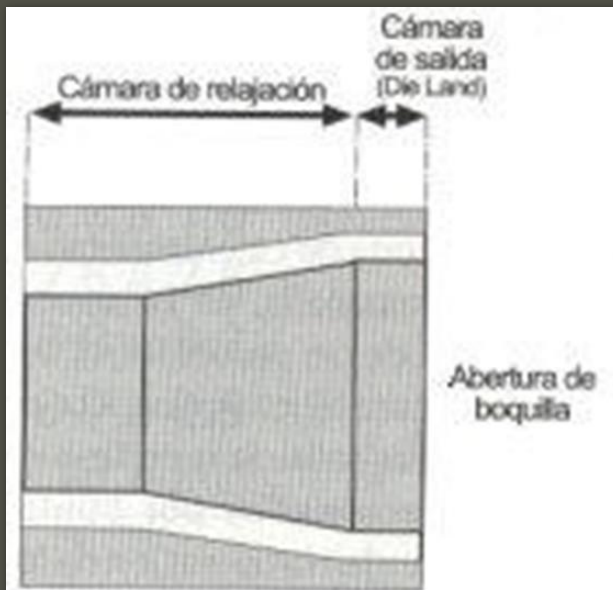


Esquema de un torpedo de un cabezal de extrusión de película tubular.

Boquilla



La boquilla de extrusión es el componente del cabezal encargado de la conformación final del extruido. Se debe velar por que el polímero fluya, con volumen y velocidad de flujo uniforme, alrededor de toda la circunferencia de la boquilla, de manera de lograr espesores uniformes. Los diseños actuales de boquillas presentan dos secciones claramente definidas



1. La cámara de relajación de la boquilla tiene como propósito producir la desaceleración del material e incrementar el tiempo de residencia en la boquilla de manera tal que el polímero relaje los esfuerzos impartidos por el paso a través de los paquetes de filtros y el plato rompedor.
2. La cámara de descarga o salida (Die land) produce el formado del perfil deseado con las dimensiones requeridas

Boquillas I

Los parámetros básicos para la especificación de una boquilla son:

- ✓ el diámetro
- ✓ la abertura de la salida

Son requeridos cuando la boquilla no es diseñada específicamente para un determinado extrusor. Debido a que los fabricantes de extrusoras y boquillas no siempre son los mismos, el uso de adaptadores suele ser común.

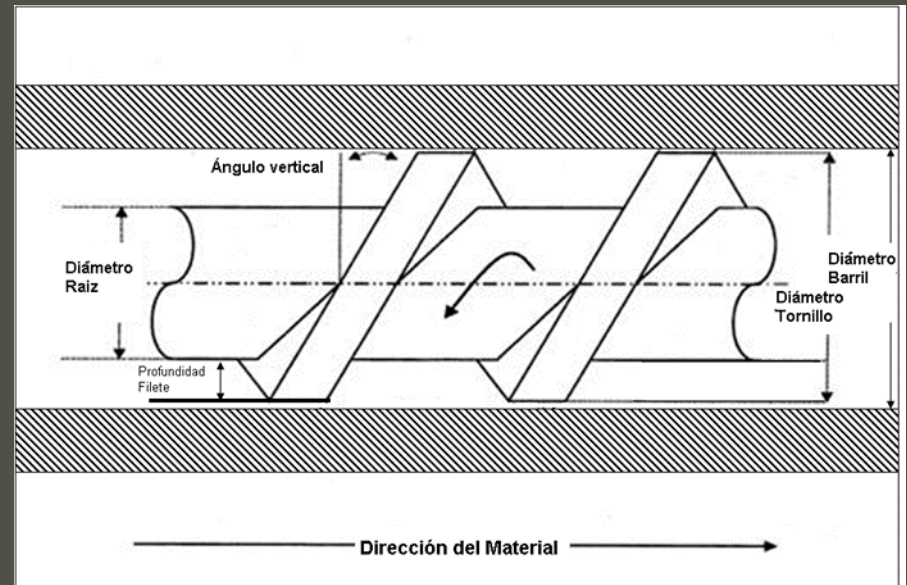
Husillos o tornillos

(Screws extruder)

Alabes o Filetes

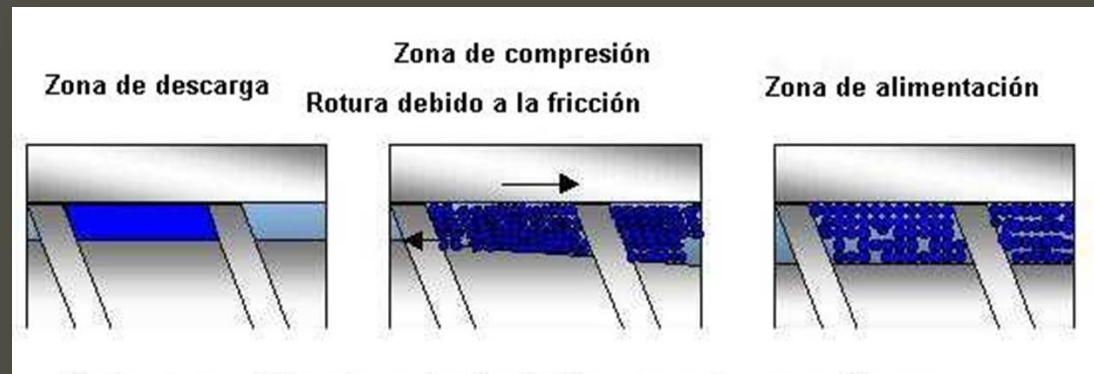
Los alabes que recorren el husillo de un extremo al otro, son los verdaderos impulsores del material a través del extrusor. Las dimensiones y formas que estos tengan, determinará el tipo de material que se pueda procesar y la calidad de mezclado de la masa al salir

Profundidad del filete en la zona de alimentación: es la distancia entre el extremo del filete y la parte central del husillo o raíz del husillo. En esta parte los filetes son muy pronunciados con el objeto de transportar una gran cantidad de material al interior del extrusor, aceptando el material sin fundir y aire que esta atrapado entre el material sólido



Relación de compresión

- Como las profundidades de los alabes no son constantes, las diferencias se diseñan dependiendo del tipo de material a procesar, debido a 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 en ciertos casos



Longitud del Tornillo

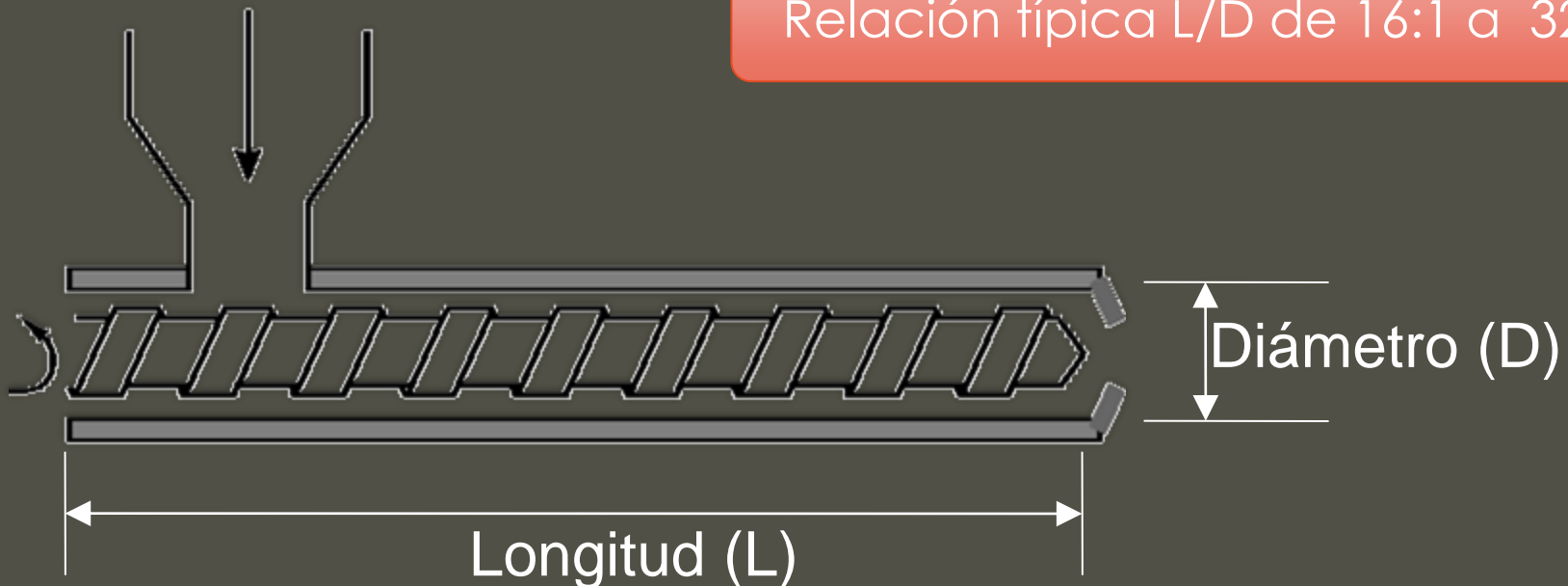


- La longitud influye en el desempeño productivo de la máquina y en el costo de esta.
- Al aumentar la longitud del husillo, y consecuentemente del extrusor, también aumenta la capacidad de plastificación y la productividad de la máquina.
- Otro aspecto que se mejora al incrementar la longitud es la calidad del mezclado y homogenización del material. Este es un factor muy importante cuando se procesan materiales pigmentados o con master batch, de cargas o aditivos que requieran incorporarse perfectamente en el producto

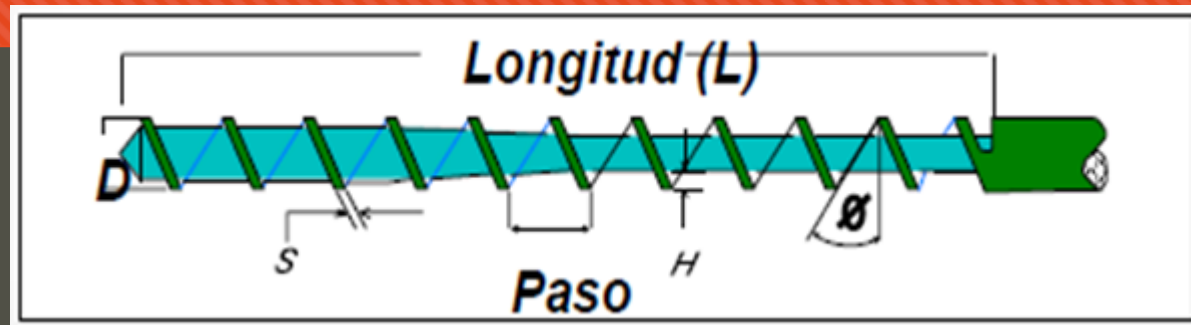
Diámetro del Tornillo

- Es la dimensión que influye directamente en la capacidad de producción de la máquina. Generalmente crece en proporción con la longitud del equipo.
- Al aumentar esta dimensión debe aumentar la longitud del husillo, puesto que al aumento de la productividad debe ser apoyada por una mejor capacidad plastificante.
- Con base a la estrecha relación existente entre longitud y diámetro del husillo se acostumbra especificar las dimensiones principales del tornillo como una relación longitud/diámetro (L/D).

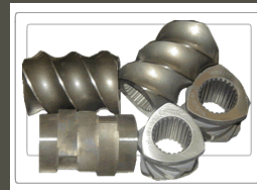
Relación típica L/D de 16:1 a 32:1



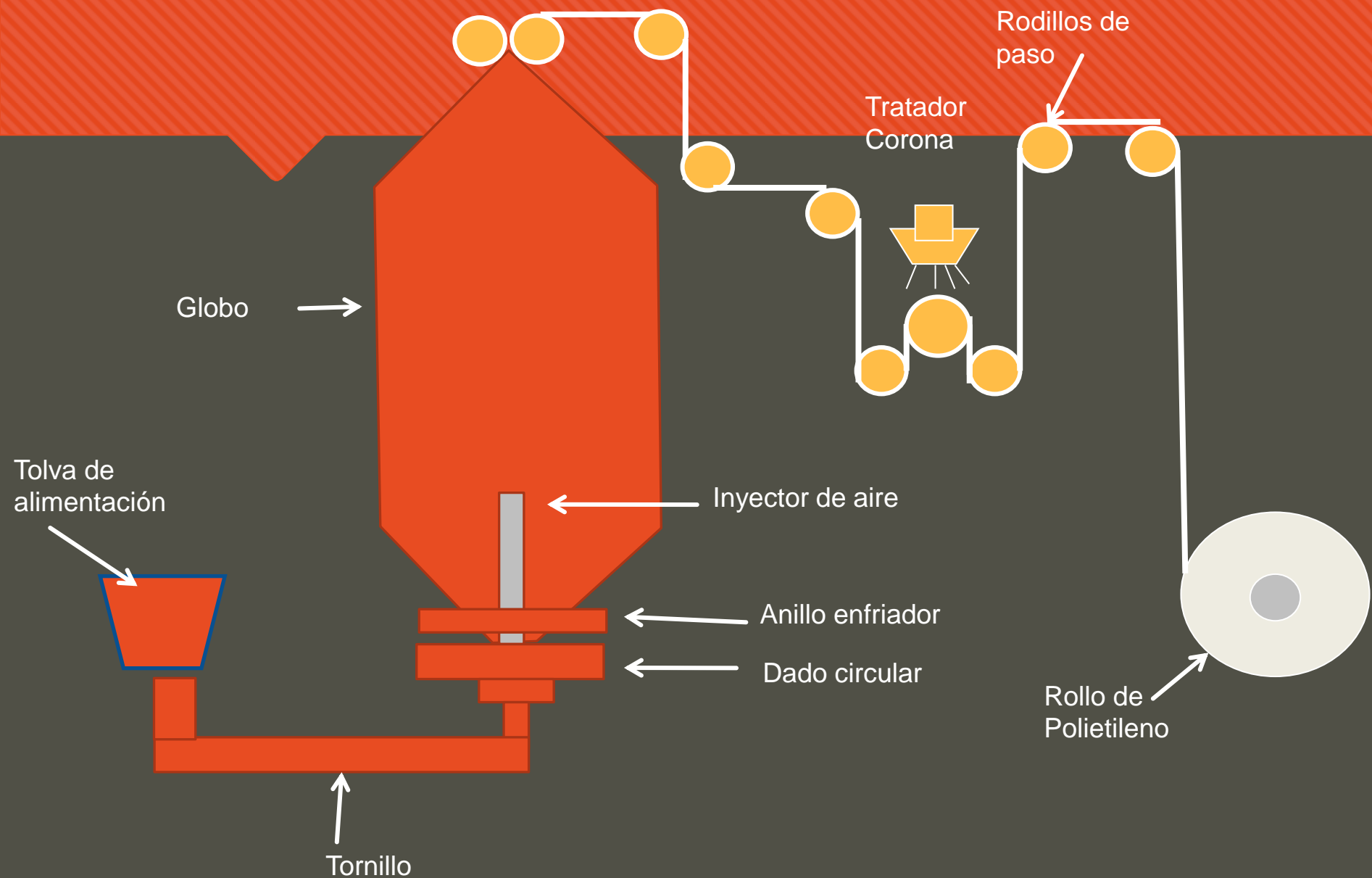
Especificaciones de un Tornillo



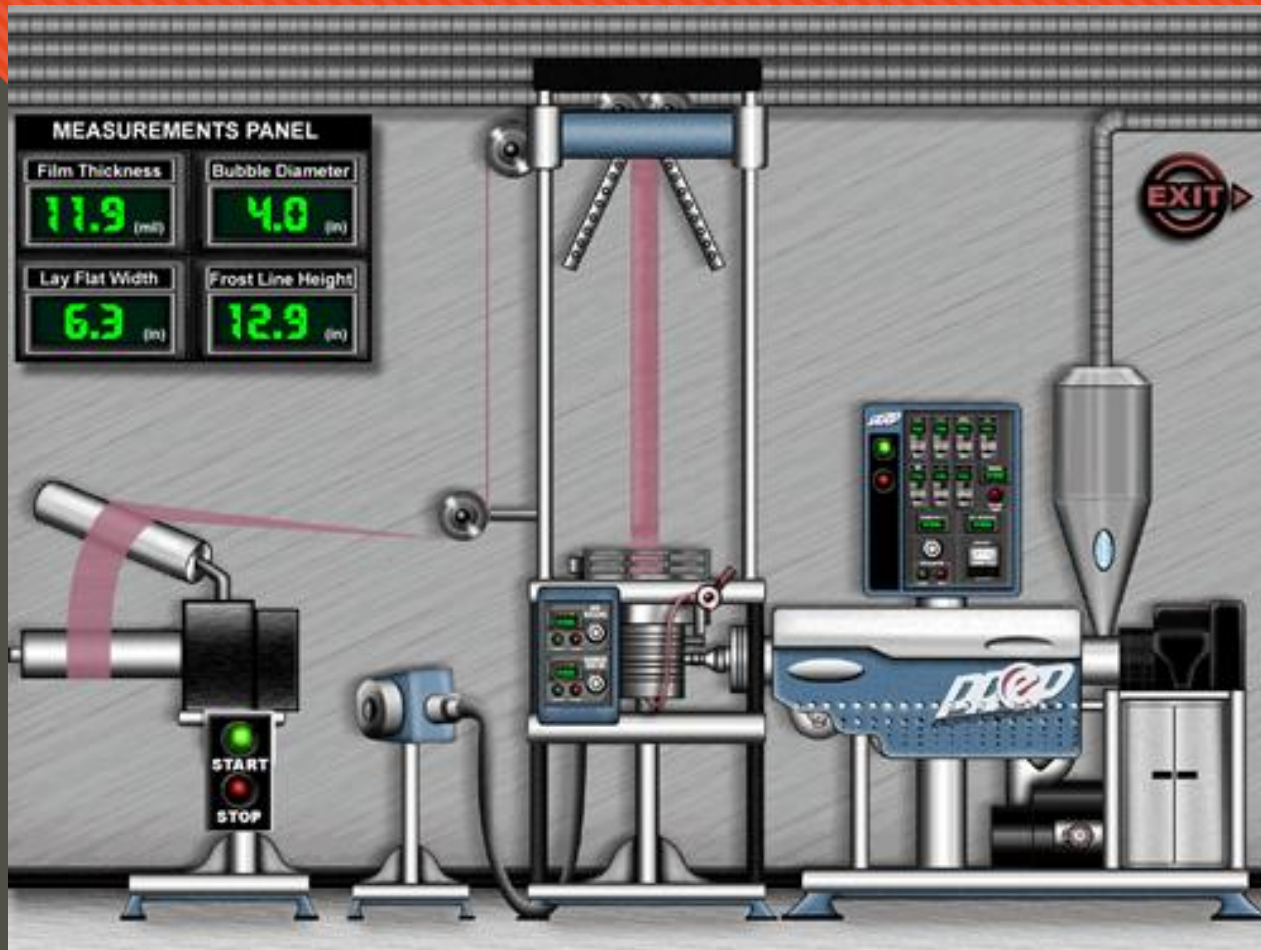
S	Ancho del Filete	Entre $0.08 D - 0.12 D$
P	Paso o ancho del canal	Distancia horizontal entre los centros de dos filetes consecutivos.
D	Diámetro	Distancia máxima entre los topes del filete del tornillo.
H	Profundidad del canal	Distancia perpendicular desde el tope del filete hasta la superficie del canal
Ø	Angulo de Hélice	Cuando el paso = D, el ángulo es 17.7°



Extrusor de Películas



Esquema de soplado de film

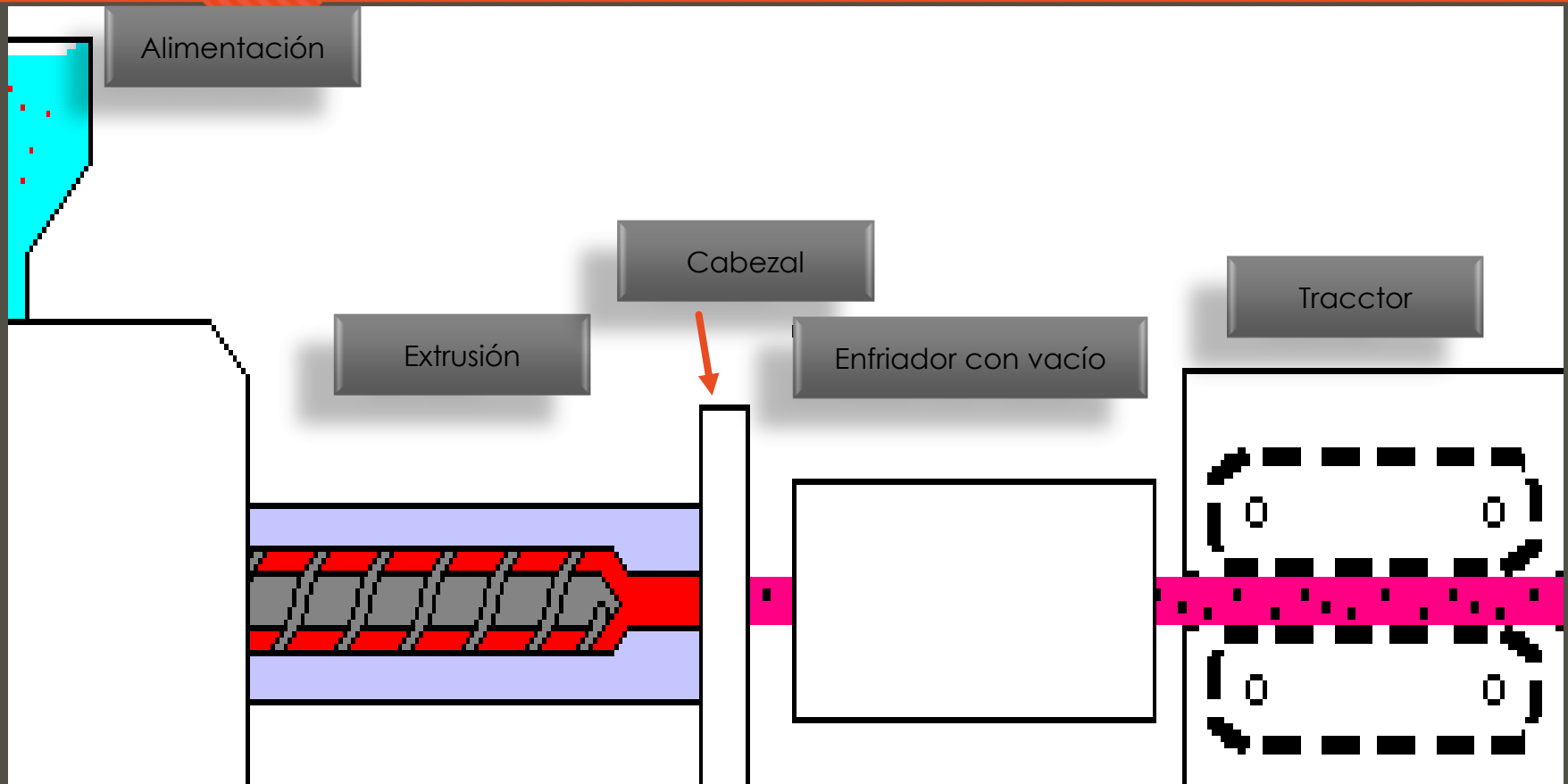


Extrusión de tubo o perfil (Componentes)

1. Extrusora
2. Cabezal
3. Unidad de formación o calibración
 - Calibración para tubería de pared lisa
 - Calibración para tubería de pared corrugada
 - Calibración externa utilizando vacío
 - Calibración interna utilizando presión
4. Batea de enfriamiento (por esperado, por inmersión)
5. Unidad de tiro (por oruga, de bandas, de rodillos)
6. Unidad de corte
7. Unidad de enrollado.

EQUIPO
DE FRIO

Extrusión de tubo o perfil (Esquema)



Extrusión de recubrimiento de cables (Componentes)

Componentes de la línea

1. Extrusora
2. Cabezal
 - Recubrimiento por presión
 - Recubrimiento por tubo
3. Sistema de enfriamiento
4. Sistema de tiro
5. Embobinadora
6. Adicionales (Sistema de medición de pared, probador de fuga de corriente, etc.)

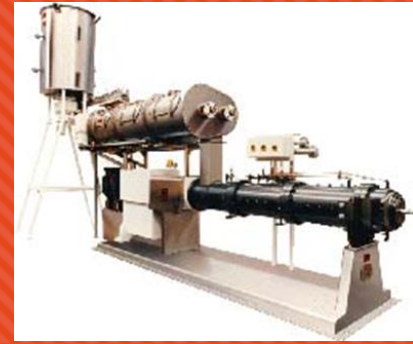
Extrusión de Cables (Componentes)



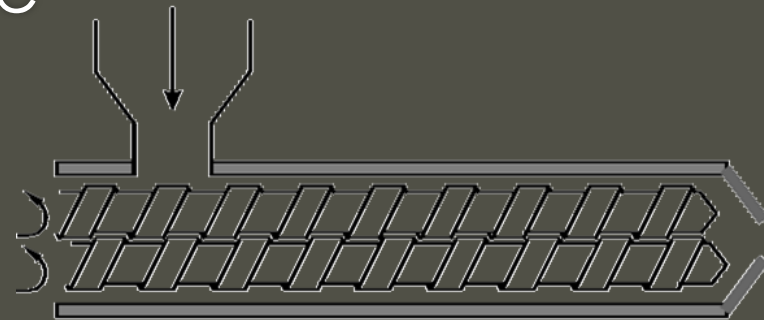
Extrusión Doble Tornillo (Usos)

- Las líneas de mezclado y producción de compuestos, en términos generales cumplen con las siguientes funciones: Mezclado y Homogenización de Polímeros con Aditivos
 - Estabilizadores de temperatura y radiaciones
 - Lubricantes de proceso
 - Plastificantes y modificadores de impacto
 - Colorantes
 - Cargas
 - Retardantes a la Flama
 - Agentes de entrecruzado
 - Agentes clarificantes
 - Otros

Extrusión Doble Tornillo

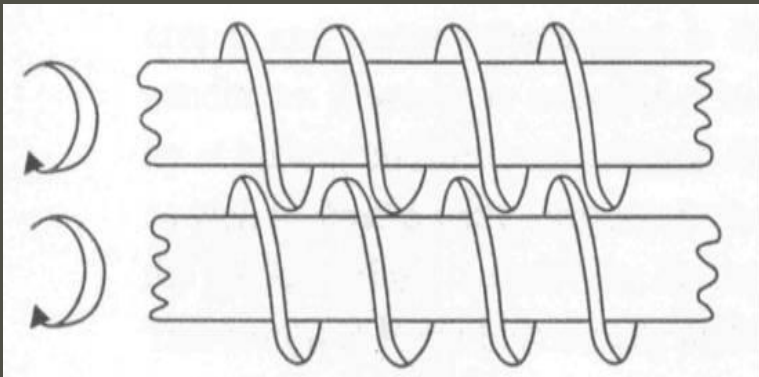


- Aumenta el transporte de material
- Mejora la transferencia de calor
- Disminuye la degradación del material por acción del calor
- Mejora la acción del bombeo
- Mejora el homogenizado de compuestos o aditivos

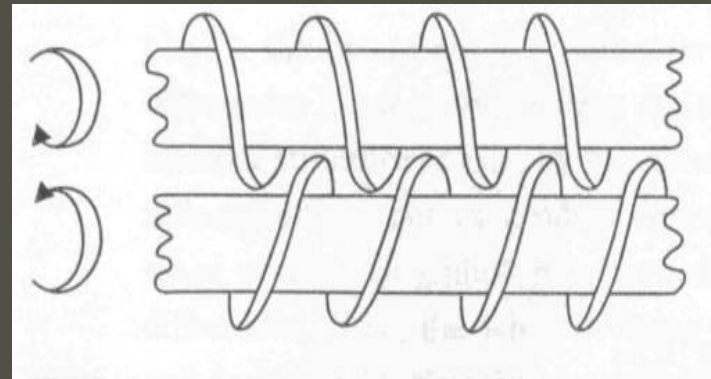


Extrusión Doble Tornillo

- Tornillos co-rotantes
- Tornillos contra-rotantes



Tornillos co-rotantes



Tornillos contra-rotantes





¿PREGUNTAS?