



PACKALL

PackAlliance:
European alliance for innovation training
& collaboration towards future packaging

Linking **Academy** to **Industry**.

Programa de formación: módulos

- Nuevos materiales y biomateriales
- **Diseño ecológico y nuevos procesos de fabricación**
 - Compromiso de ciudadanos y consumidores
 - Gestión de residuos y valorización



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.

This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



Curso 1-Nuevos procesos de fabricación para sistemas de embalaje (3 ECTS)

1.PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE ENVASES DE PLÁSTICO FLEXIBLE (0.6 ECTS)

1.1. Base de los procesos de extrusión

1.1.1 Proceso de extrusión: descripción y equipamiento

1.1.2 Análisis del proceso de extrusión de un solo husillo

1.2. Procesos industriales para la producción de envases flexibles

1.2.2. Extrusión de película fundida

Descripción del proceso

Diferentes tipos de cabezas y troqueles de película fundida.

Boquilla con forma de percha

Parámetros de procesamiento: relación de estirado, temperatura del rodillo enfriador, distancia entre la matriz y el rodillo enfriador

1.2.1. Película soplada

Parámetros de procesamiento para el proceso de soplado de películas.

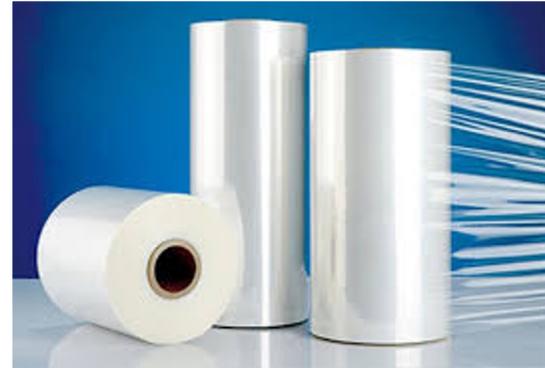
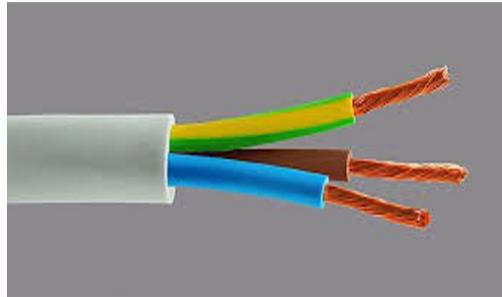
Relación de extracción y relación de explosión

Altura de la línea de escarcha

PROCESO DE EXTRUSIÓN



El proceso de extrusión representa la **operación de procesamiento de polímeros más importante**. Es un **proceso continuo** que permite obtener objetos de sección constante, posiblemente incluso de geometría compleja, y de gran longitud, como tubos, películas, varillas, fibra, etc.

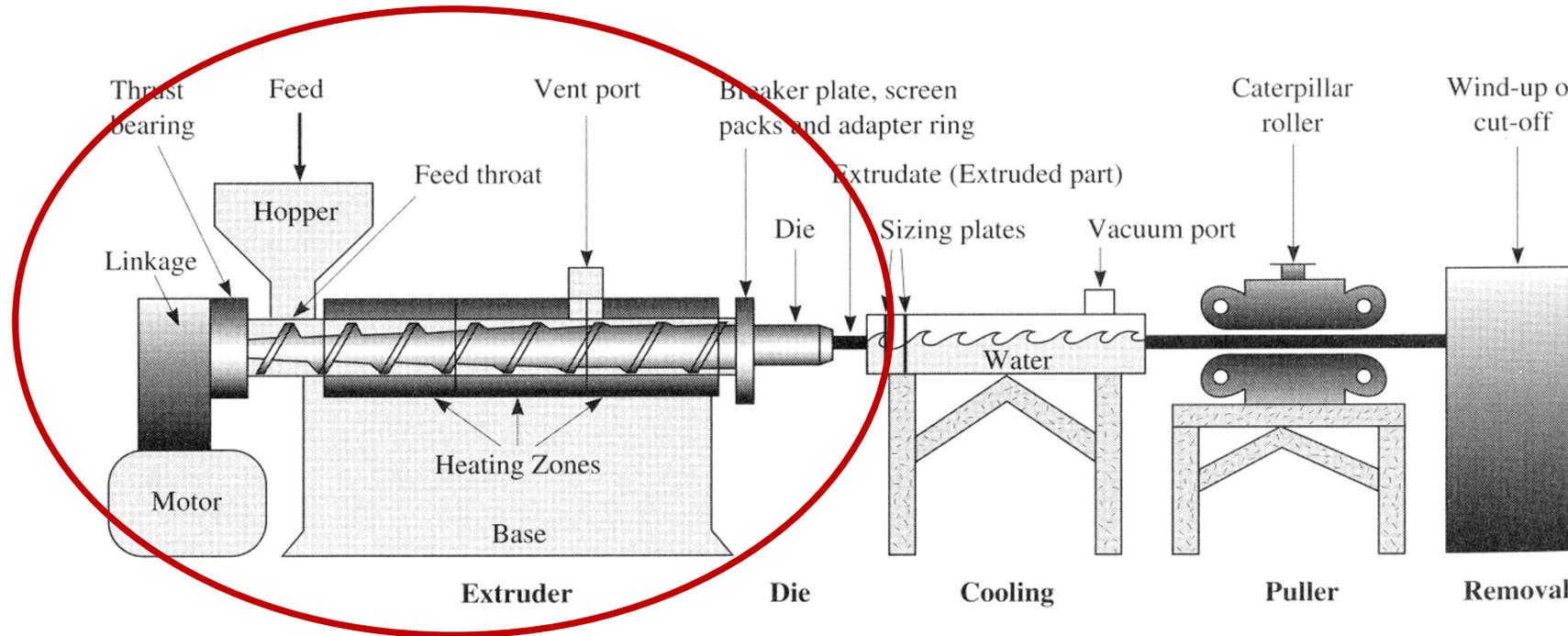


Consiste en la **conversión** continua de un **polímero granular sólido** en un **fluido altamente viscoso**, que posteriormente se presuriza para determinar su paso por un troquel que tiene la función de **formar el material fundido**.

Este proceso es realizado por una **EXTRUSORA** que es el aparato básico en la industria de procesamiento de materiales termoplásticos poliméricos.

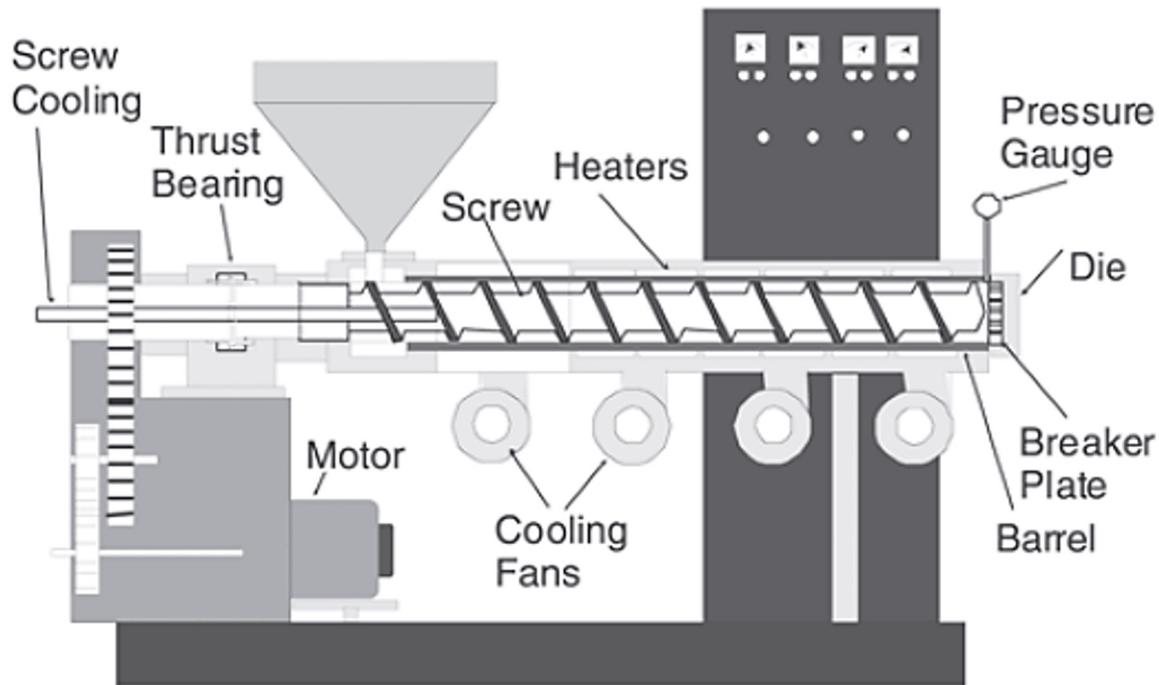
ESQUEMA DE UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN CON SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y EXTRACTORES

La extrusión de materiales poliméricos para producir productos terminados para aplicaciones industriales o de consumo es un proceso integrado, siendo la **EXTRUSORA** el componente fundamental de toda la línea.



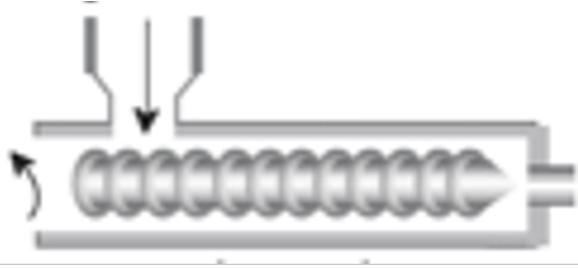
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiogtP81qDxAhUewAIHHbh5DDwQwqsBMAN6BAGdEAE&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DTp2Rdx69SSo&usq=AOvVaw3joHxhiDBo0kYsU3IToLMj>

La extrusora es esencialmente un **BOMBA** que está diseñada para **DERRETIR, TRANSPORTAR y PRESURIZAR** fluidos con alta viscosidad.

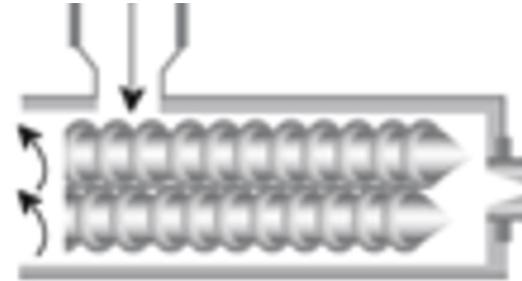


Una extrusora estándar, que es una **EXTRUSORA DE TORNILLO ÚNICO**, está compuesto por un cilindro calentado, llamado **cilindro**, donde un **tornillo** puede girar. El cilindro suele calentarse mediante resistencias eléctricas, proporcionando así la energía térmica necesaria para la fusión del material que se alimenta a la máquina en forma de gránulos o polvos mediante un **tolva de alimentación**.

EXTRUSORA DE HUSILLO UNICO

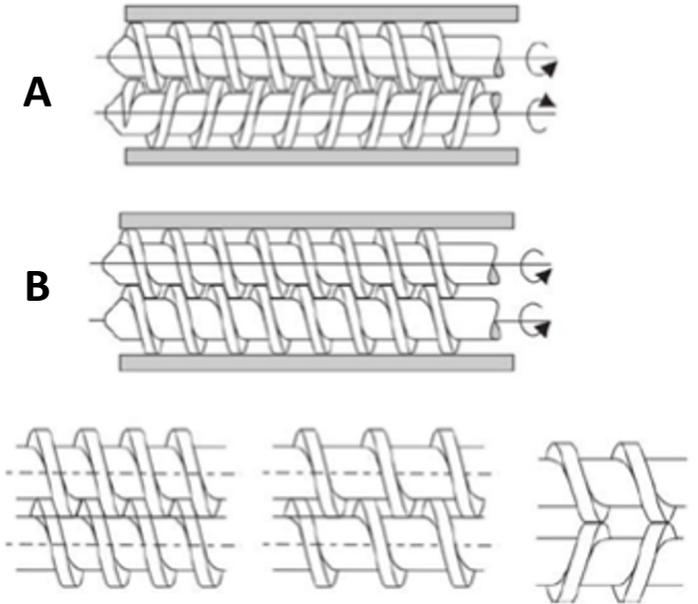


EXTRUSORA DE DOBLE HUSILLO



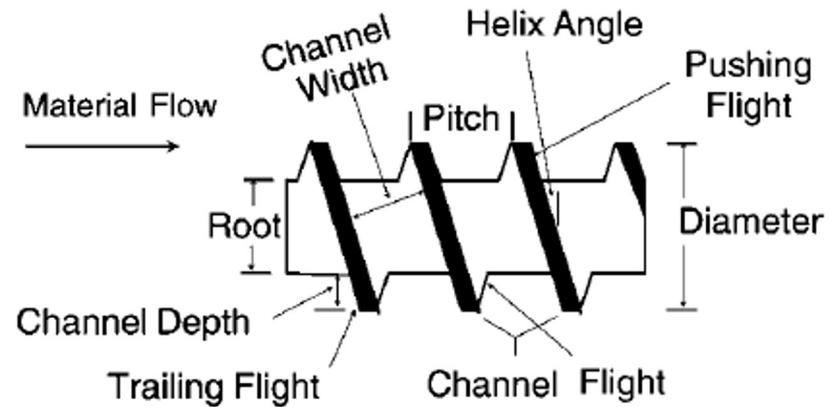
EXTRUSORAS DE DOBLE HUSILLO:

- ❑ Tienen dos tornillos paralelos que giran en un cilindro cuya sección transversal está formada de tal manera que permite, en cierta medida, la interacción de los tornillos (extrusoras **entrelazadas** y **no entrelazadas**).
- ❑ Se puede clasificar en máquinas **corrotantes** y **contrarotantes** en base a la dirección de rotación de los tornillos.
- ❑ Muestran **mayor efecto de mezcla** y un **mejor control del tiempo de residencia** para los materiales procesados con respecto a las extrusoras de un solo tornillo.

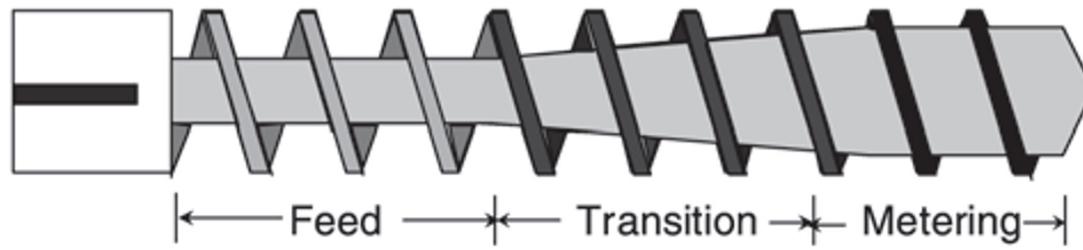


- A. **Contrarotante**
- B. **Corrotante**
- C. **Grado de engrane del tornillo**

GEOMETRÍA DEL TORNILLO



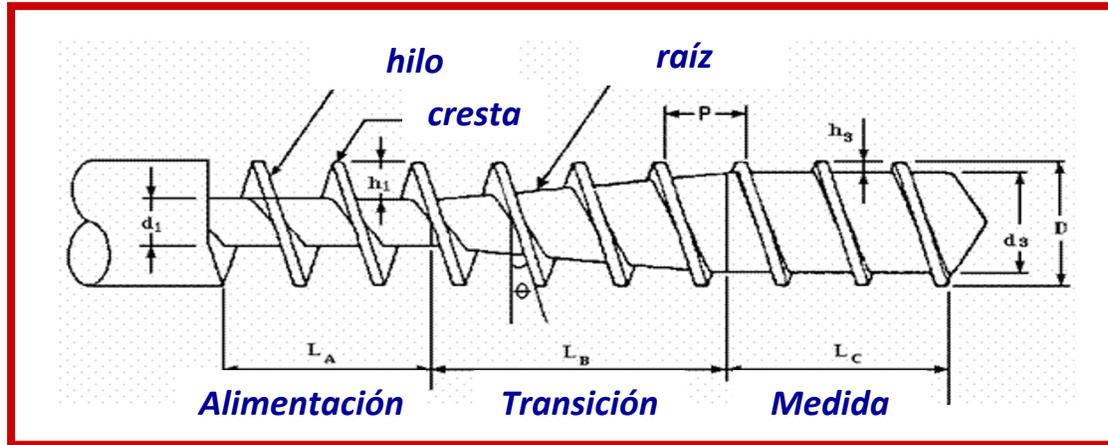
Por lo general, el **longitud del tornillo L** está relacionada con el diámetro del tornillo D por la **relación L/D**. Esta relación permite expresar la longitud del tornillo en términos de un cierto número de diámetros.



La geometría, a lo largo de un perfil de tornillo extrusor estándar, permite identificar generalmente tres secciones diferentes:

- a) **alimentación**
- b) **transición**
- c) **medición**

... en base a *CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TORNILLO*

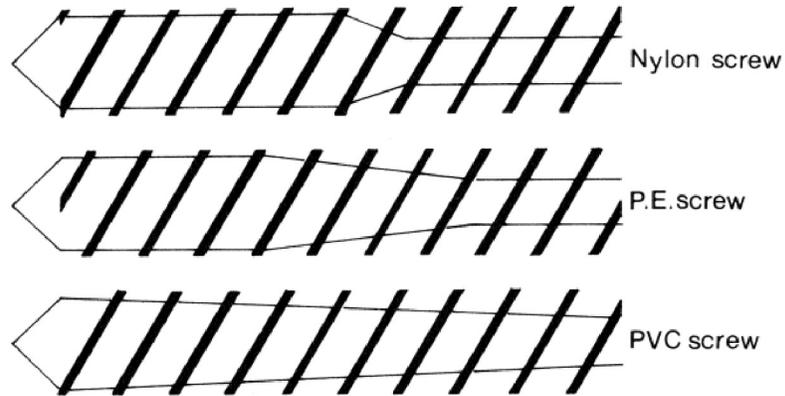


- En el **zona de alimentación**, la profundidad del canal es alta y constante, para transportar y compactar fácilmente el polímero sólido

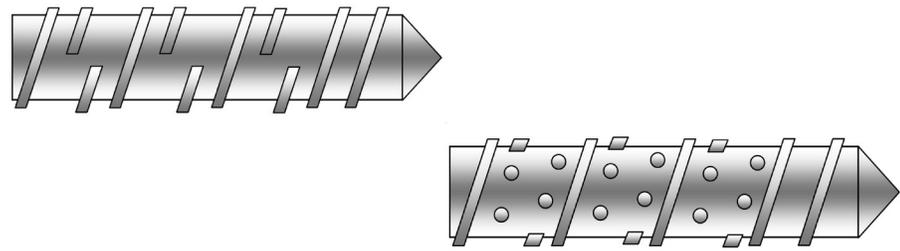
- En la **zona de transición** la profundidad del canal disminuye a lo largo de la dirección del flujo del material para promover la presurización del polímero. La relación de las secciones transversales al principio y al final de esta área se llama **Relación de compresión (CR)** del tornillo

$$RC = \frac{(D - h_1)h_1}{(D - h_3)h_3}$$

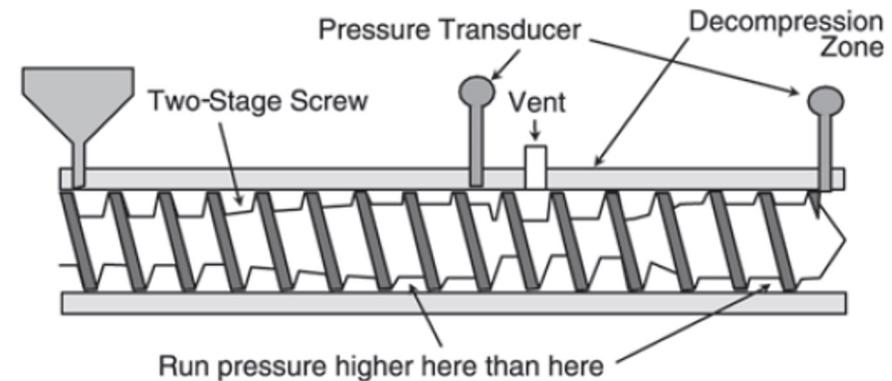
- En el **zona de medición**, la altura de las roscas es constante mientras que el diámetro de la raíz del tornillo es máximo, para mezclar y presurizar la masa fundida para atravesar la matriz.



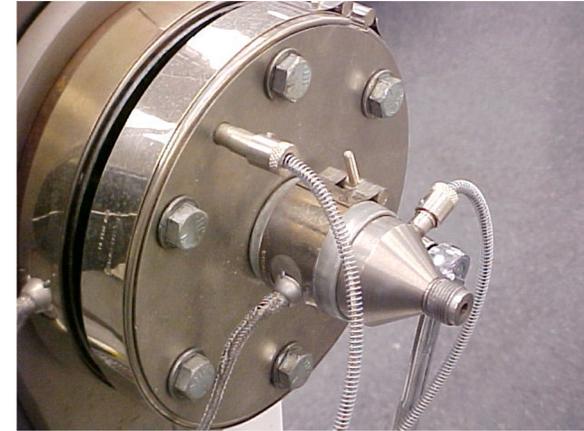
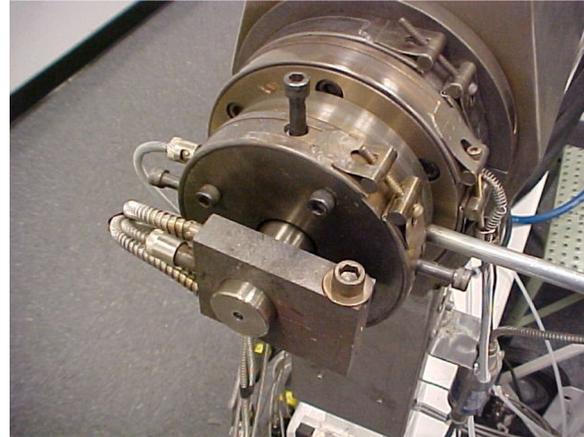
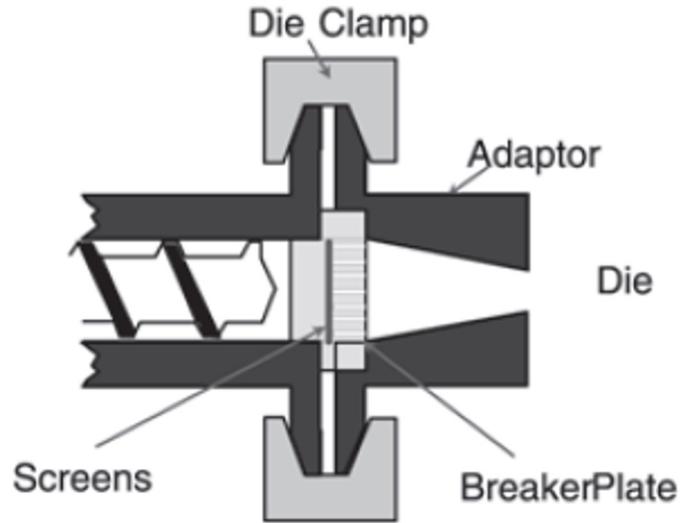
En el caso de **polímeros amorfos** (PVC) que se ablandan paulatinamente, la zona de transición ocupa casi la totalidad del tornillo, mientras que en el caso de **polímeros que se funden rápidamente** (nylon), esta zona es más corta.



Algún tornillo en particular, el llamado **tornillos de barrera** están diseñados para maximizar tanto el efecto de fusión como la homogeneización de la corriente de fusión frente a los tramos de barrera.

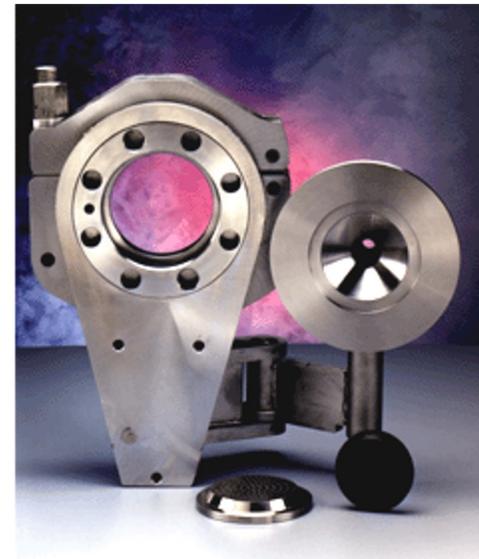
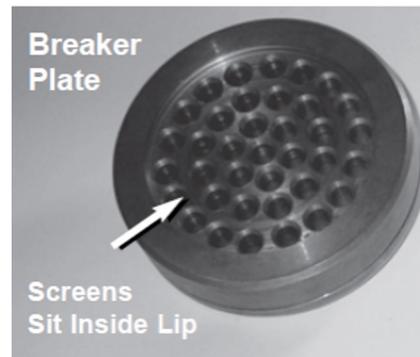


A **tornillo de dos etapas** en una extrusora ventilada se usa para eliminar los volátiles y/o la humedad de los polímeros.



El conjunto del cabezal del extrusor incluye:

- placa rompedora
- adaptador
- boquilla



Curso 1-Procesamiento de Fabricación Novedosos para Sistemas de Envasado (3 ECTS)

1.PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE ENVASES DE PLÁSTICO FLEXIBLE (0.6 ETCS)

1.1. Base de los procesos de extrusión

1.1.1 Proceso de extrusión: descripción y equipamiento

1.1.2 Análisis del proceso de extrusión de un solo husillo

1.2. Procesos industriales para la producción de envases flexibles

1.2.2. Extrusión de película fundida

Descripción del proceso

Diferentes tipos de cabezas y troqueles de película fundida.

Boquilla con forma de percha

Parámetros de procesamiento: relación de estirado, temperatura del rodillo enfriador, distancia entre la matriz y el rodillo enfriador

1.2.1. película soplada

Parámetros de procesamiento para el proceso de soplado de películas.

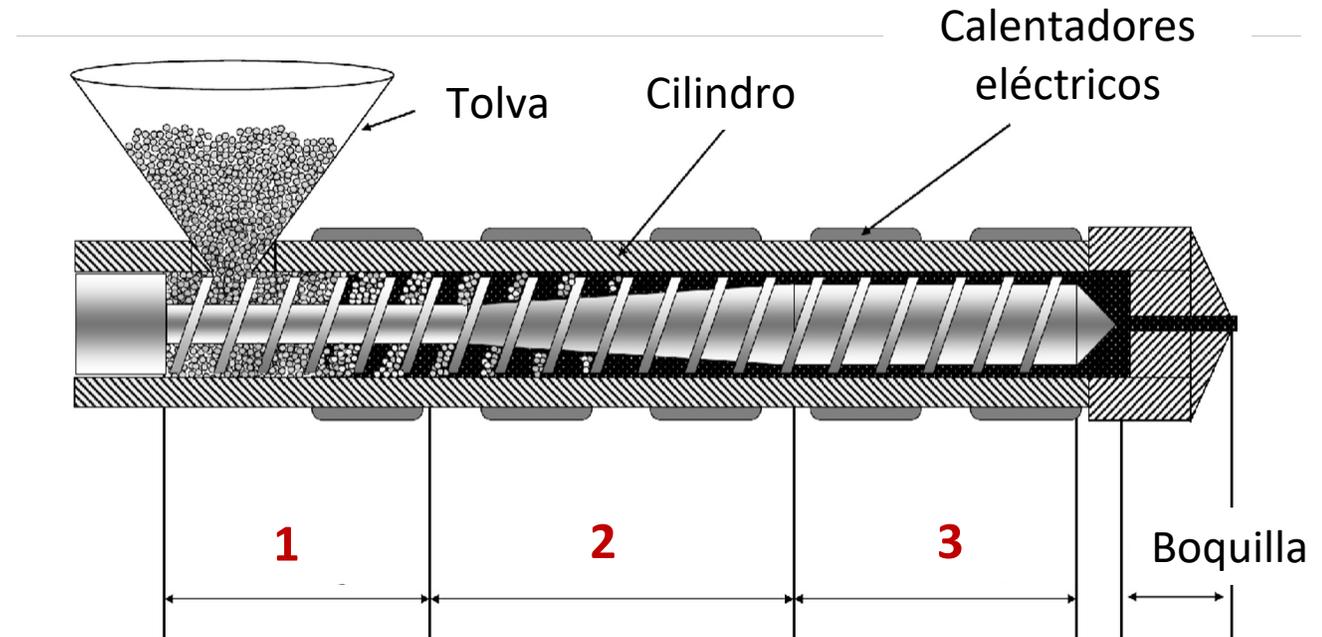
Relación de extracción y relación de explosión

Altura de la línea de escarcha

La descripción de un proceso de extrusión estándar se puede relacionar con las zonas funcionales del aparato. Tales zonas corresponden a las características físicas que adquiere el polímero en su movimiento desde la tolva hasta la matriz de extrusión del sistema.

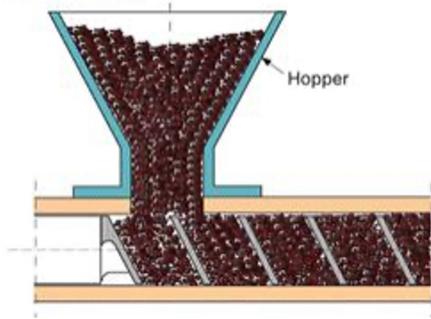
Estas zonas funcionales normalmente se denominan:

1. Zona de transporte de sólidos
2. Zona de plastificación o fusión
3. Zona de transporte de masa fundida

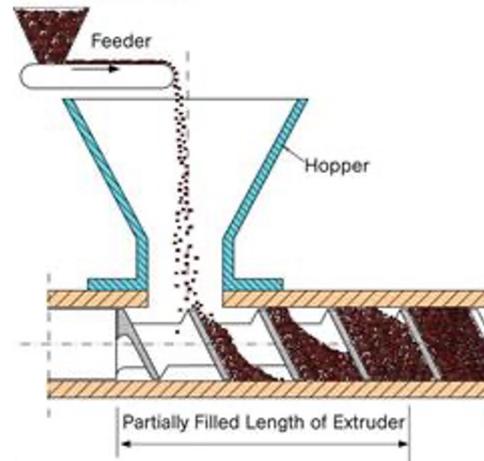


El **tornillo extrusor** tiene que ser diseñado con las **características geométricas adecuadas** que deben promover los procesos antes mencionados.

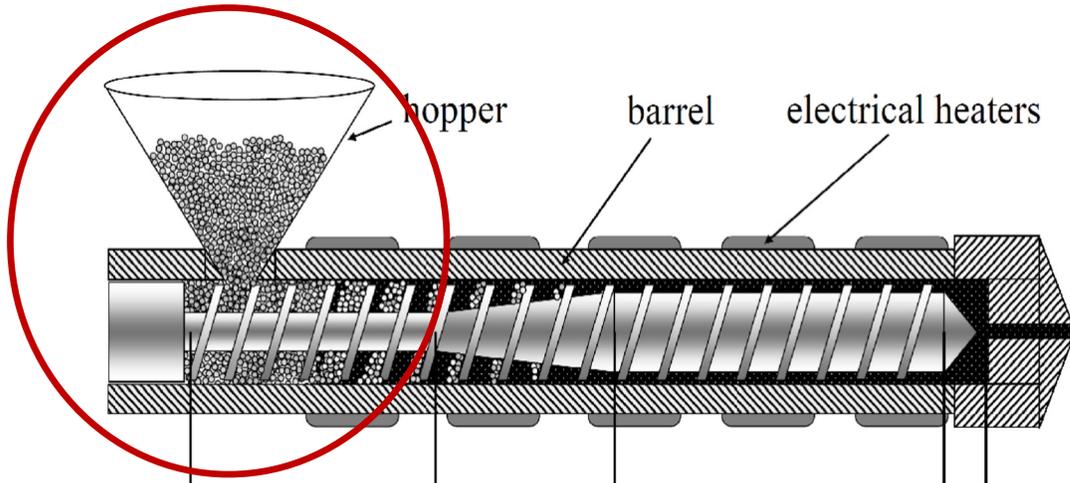
La alimentación de una extrusora se puede realizar de dos formas:



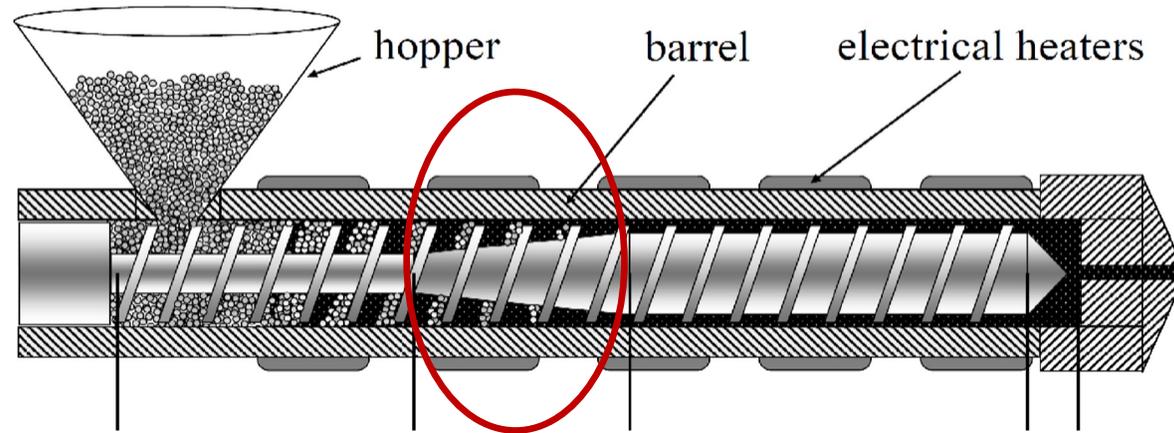
La alimentación "**flood feeding**" consiste en el flujo por gravedad de los gránulos de polímero desde una tolva



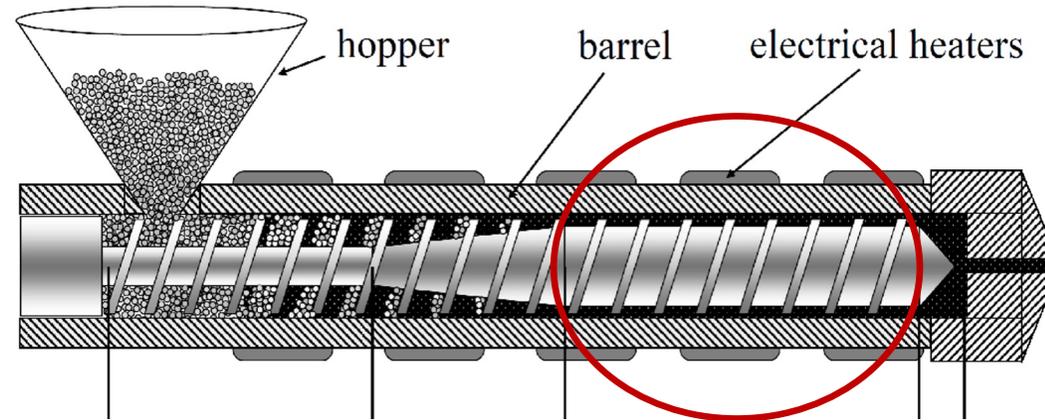
La alimentación "**starve feeding**" o **alimentación medida** se lleva a cabo haciendo uso de dispositivos gravimétricos o volumétricos que controlan con precisión la cantidad de sólidos granulados entregados a la extrusora en la sección de alimentación.



Para optimizar el caudal en esta sección, es necesario maximizar la fricción entre el polímero y el cilindro y minimizar la fuerza de fricción polímero-tornillo, por lo que el material gira a una velocidad inferior a la del tornillo y es empujado hacia delante por la matriz.



- ❑ La zona de fusión comienza en el punto donde el polímero comienza a formar una película fundida en la superficie del cilindro y se extiende hasta el punto donde se funde todo el material, que se encuentra en el canal del tornillo.
- ❑ En esta sección, el tornillo tiene que realizar el transporte de gránulos sólidos, su fusión completa, en la menor longitud posible, y tiene que transportar el polímero hacia delante contra un gradiente de presión.
- ❑ El **aumento de temperatura**, que determinan la fusión del polímero, se debe tanto al transporte de calor desde el cilindro (que normalmente se calienta eléctricamente) como a la **generación de calor por fricción**.

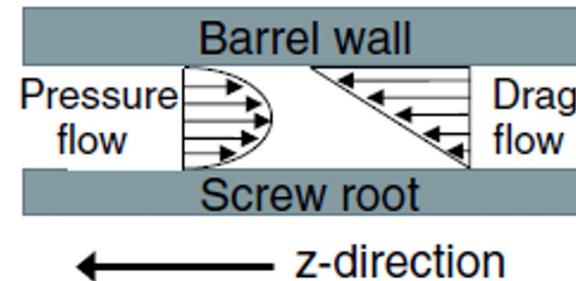
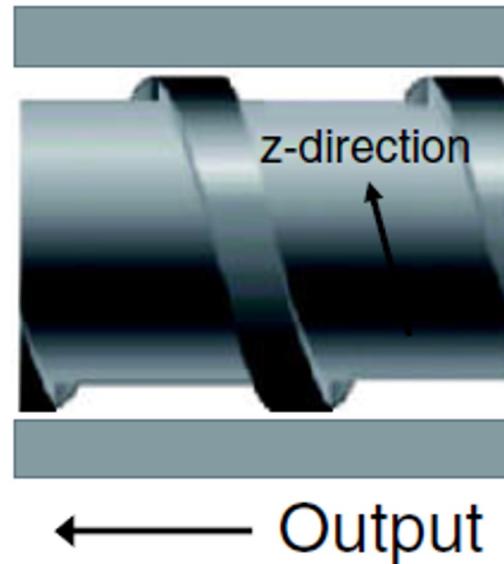


- ❑ La **REOLOGÍA** de los **POLÍMEROS** juega un papel clave en esta zona.
- ❑ El análisis de esta zona es importante para determinar las **relaciones** entre:
 - El **índice de fluidez**
 - Las **condiciones de proceso**
 - Las **características geométricas del tornillo**
- ❑ En esta zona la masa fundida polimérica (fluido de alta viscosidad) tiene que ser **transportado** y **presurizado** para que pueda pasar a través del cabezal de extrusión que ejerce una resistencia al flujo.

Para el análisis de esta zona se debe considerar que **el tornillo trabaja siempre acoplado a una matriz.**

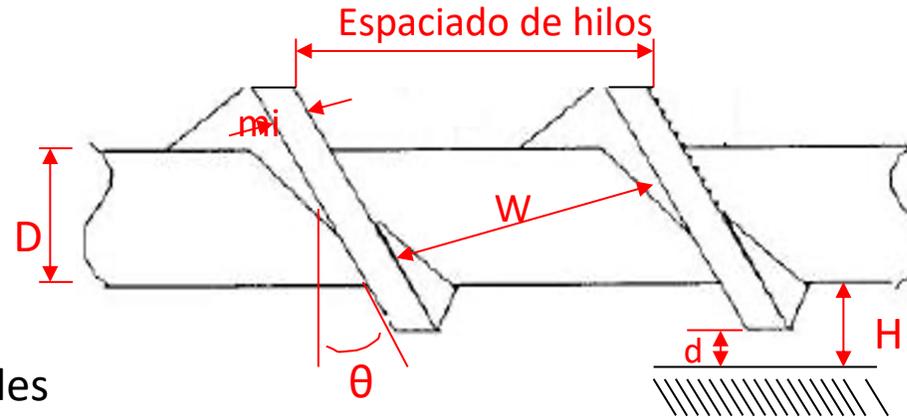
El **caudal neto q** que sale de la extrusora viene dado por la diferencia entre la **tasa de flujo de arrastre q_D** y la **tasa de flujo de contrapresión q_P** debido a la presencia del gradiente de presión:

$$q = q_D - q_P$$



HIPÓTESIS PARA EL ANÁLISIS DE FLUJO:

- fluido incompresible y newtoniano
- flujo isotérmico y constante
- flujo de fuga insignificante
- fuerzas gravitatorias e inerciales despreciables



$$\begin{aligned} H &\ll AN \\ H &\ll D \\ H &> d \end{aligned}$$

$$Q = Q_D - Q_P$$

$$Q_D = \frac{wH}{2} \pi D_b N \cos \theta$$

$$Q_P = \frac{wH^3}{12\eta} \frac{\Delta P}{z}$$

Tasa de flujo de arrastre:

depende de la velocidad del husillo (N)

Caudal de presión:

Depende de la viscosidad del polímero (η)

Recogiendo todos los factores geométricos (**A** y **B** dependen de los **parámetros de diseño de la extrusora**) tenemos:

$$Q = AN - \frac{B\Delta P}{\eta}$$

La optimización de una operación de extrusión en particular depende tanto de los **parámetros de diseño del equipo** como de las **condiciones del proceso**

- Tipo de extrusora: tornillo simple o doble
- Tamaño del extrusor: pequeño o grande
- Uso de un tornillo de diseño particular
- Diseño de matrices
- Tasa de rendimiento
- Proceso aguas abajo
- Tipo de resina y formulación
- Aditivos en la resina

Además de las condiciones del proceso y los parámetros de diseño del equipo, es necesario una **comprensión de los materiales** y su transformación en cada paso.

- ¿Cuál es la reología de la formulación y cómo cambia con la temperatura y el corte?
- ¿Cuáles son las condiciones de secado adecuadas?
- ¿Cómo afecta la humedad a las propiedades?
- ¿Cuál es la temperatura de fusión adecuada?
- ¿Cuál es la contracción del material?
- ¿El polímero es cristalino o amorfo?
- ¿Cuáles son los requisitos de refrigeración (material T_g o T_m)?



PACKALL

PackAlliance:
European alliance for innovation training
& collaboration towards future packaging

Linking **Academy** to **Industry**.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO



Derechos de autor: CC BY-NC-SA 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Con esta licencia, eres libre de compartir la copia y redistribuir el material en cualquier medio o formato. También puede adaptar, remezclar, transformar y construir sobre el material.

Sin embargo, sólo bajo los siguientes términos:

Atribución —debe otorgar el crédito apropiado, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera al licenciante lo respalda a usted o su uso.

No comercial —no puede utilizar el material con fines comerciales.

Compartir por igual —si remezcla, transforma o construye sobre el material, debe distribuir sus contribuciones bajo la misma licencia que el original.

Sin restricciones adicionales —no puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.

This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

