



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 procesamiento de fabricación novedoso**
 - 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-Procesos de Fabricación Novedosos para Sistemas de Envasado (3 ECTS)

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

1.1. Base de los procesos de extrusión

1.2. Procesos industriales para la producción de envases flexibles

1.2.1. 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

1.2.2. Película soplada

Parámetros de procesado para el soplado de películas.

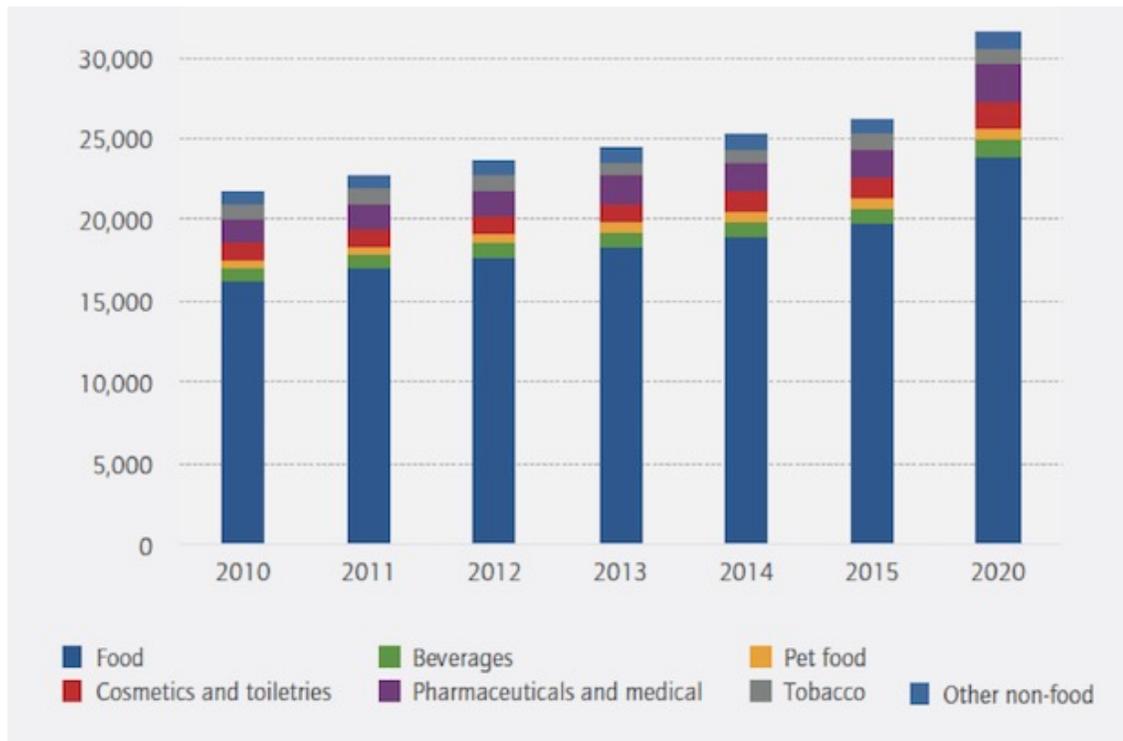
Relación de extracción y relación de explosión

Altura de la línea de escarcha

Los **envases flexibles** se clasifican sobre la base del espesor y representan una gran parte del mercado de envases de plástico:

Lámina → tiene más de 0,25 mm de espesor

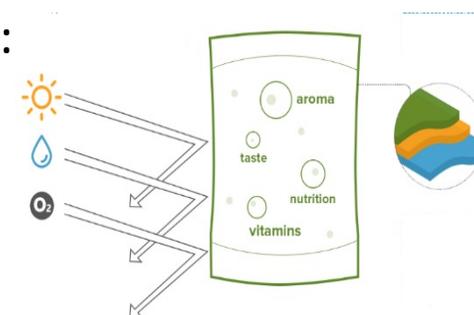
Película → tiene menos de 0,25 mm de espesor



- ❑ El valor de mercado global de envases flexibles para el consumidor creció a una tasa promedio anual de 4.4% durante el período 2015-2020 para alcanzar los \$114 mil millones
- ❑ Los alimentos representan más de las tres cuartas partes del consumo mundial de envases flexibles en 2020. Carne, pescado, y aves de corral representan el mayor uso del sector alimentario para envases flexibles, seguido por confitería y productos horneados.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DEL ENVASE DE PLÁSTICO FLEXIBLE:

- ❑ Proporciona una **protección excelente y a medida** a los productos
- ❑ Ofrece **gran atractivo en el estante y diferenciación**
- ❑ Mejora la **comodidad del consumidor** (*control de porciones, fácil uso y almacenamiento*)



**MANTIENE LAS COSAS
BUENAS DENTRO Y LAS
COSAS MALAS FUERA**

BENEFICIOS DE SOSTENIBILIDAD SIGNIFICATIVOS DEL EMBALAJE FLEXIBLE

- ❑ mayor relación producto-paquete
- ❑ reduce el desperdicio de productos
- ❑ menos energía utilizada
- ❑ menos emisiones de gases de efecto invernadero

PROPORCIÓN DE EMBALAJE BAJO



MENOS ENERGÍA PARA EL TRANSPORTE



PEQUEÑA PARTE DE LA HUELLA DE CARBONO

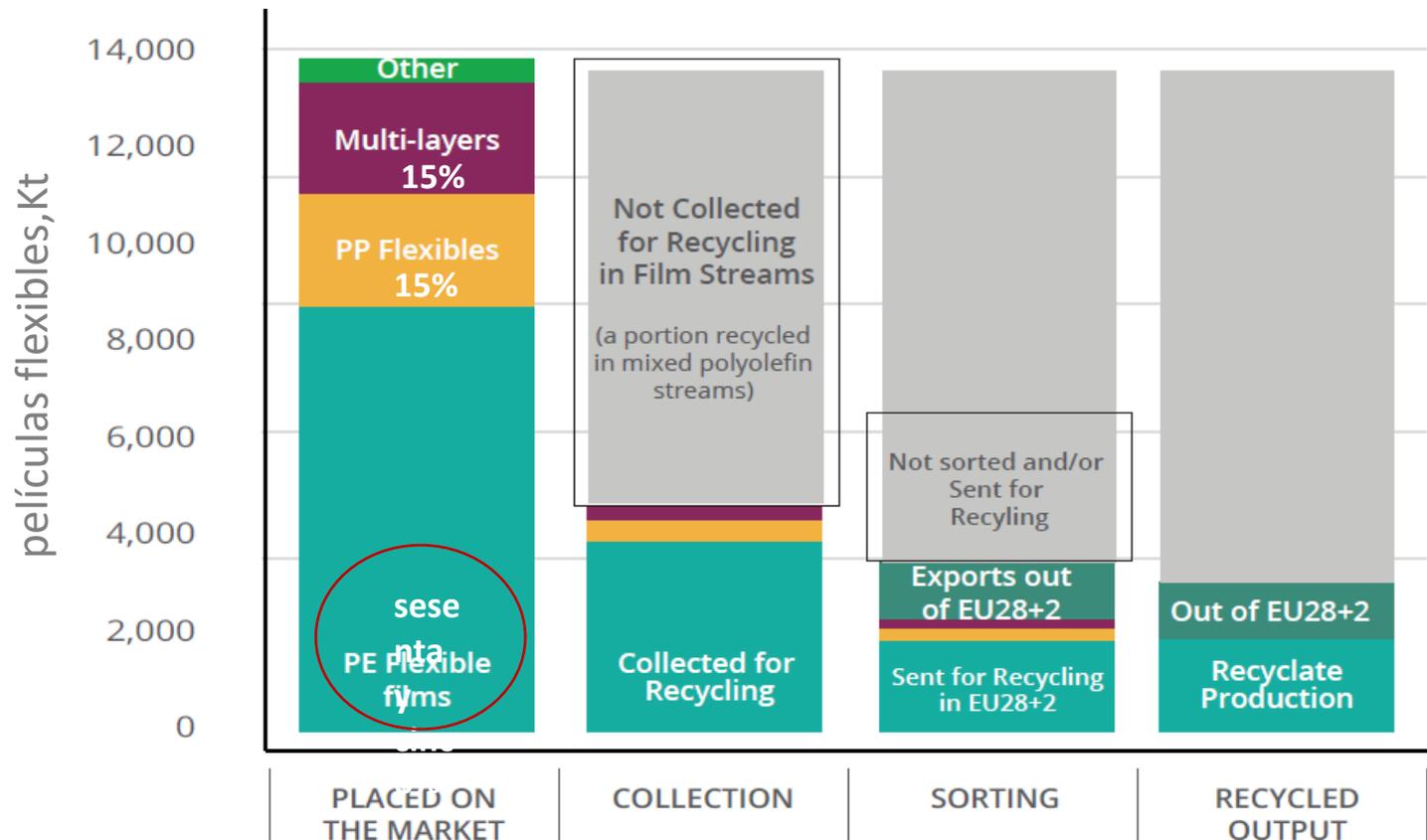


MENOS MATERIAL UTILIZADO Y MENOS RESIDUOS



DEBILIDADES DEL EMBALAJE FLEXIBLE EN UN ENFOQUE CIRCULAR

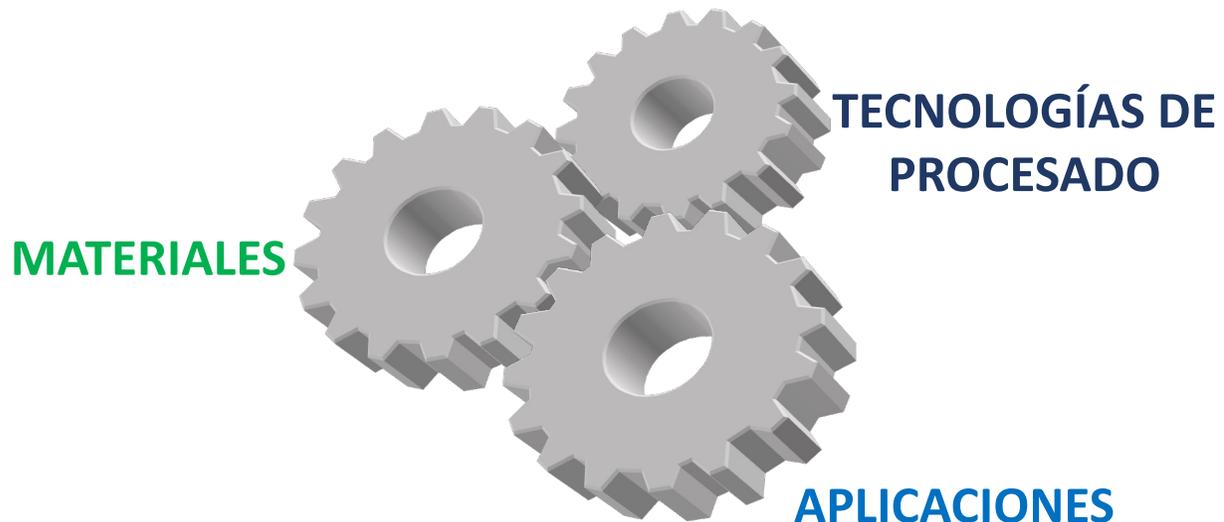
Fuente: Estado actual del mercado de películas flexibles en Europa. Datos de Producción, Recolección y Reciclaje 2020” de PRE



En Europa, **BAJAS TASAS DE RECICLAJE** para envases flexibles: sólo **23%** de las películas de PE y **15%** de todas las películas flexibles fueron en realidad recolectados para reciclar

REQUISITOS PARA LAS PELÍCULAS DE EMBALAJE:

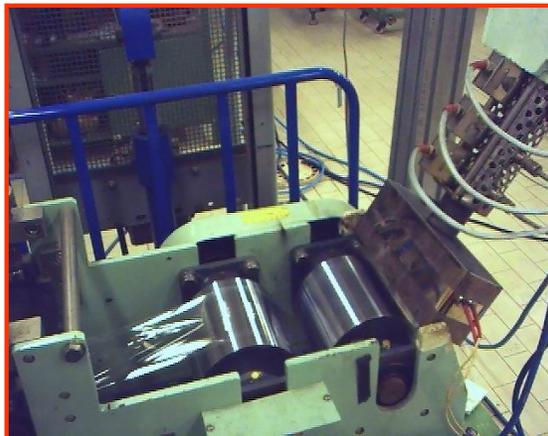
- barrera de gas y vapor
- alta rigidez y resistencia mecánica
- buenas propiedades ópticas (transparencia, color)
- tamaño y uniformidad de la superficie
- capacidad de sellado
- imprimibilidad



Los procesos de transformación y los parámetros de operación correspondientes deben seleccionarse apropiadamente de acuerdo con las características peculiares de las materias primas y las propiedades específicas requeridas para las películas flexibles

- PROCESADO DE PELÍCULA FUNDIDA Y SOPLADA
- TÉCNICAS DE ORIENTACIÓN
- COEXTRUSIÓN

PELÍCULA FUNDIDA



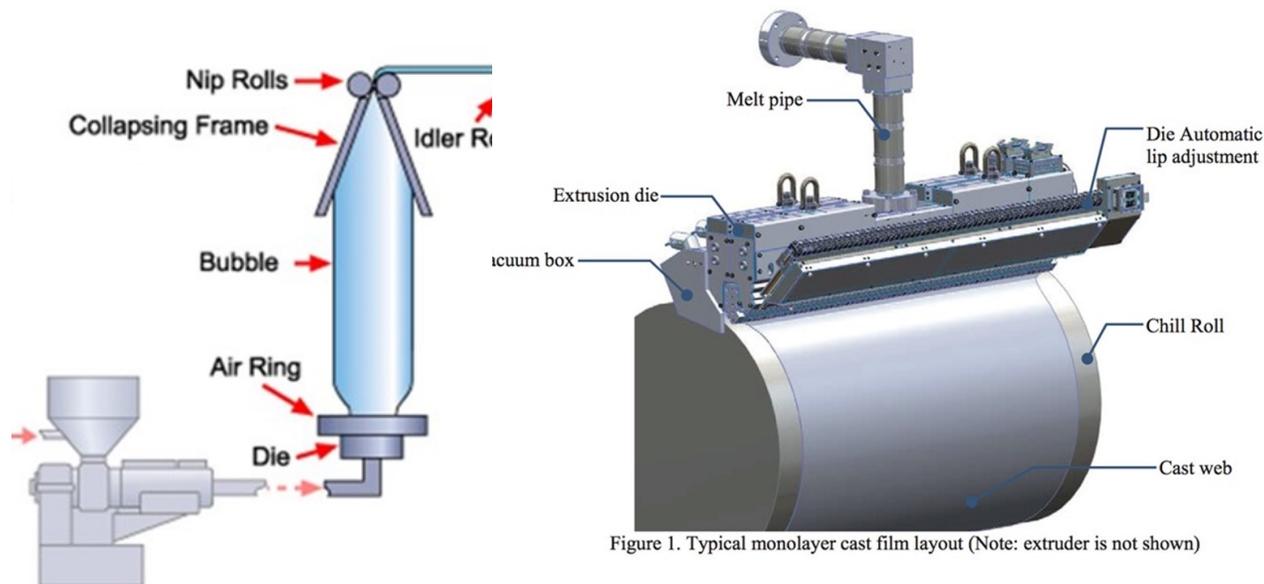
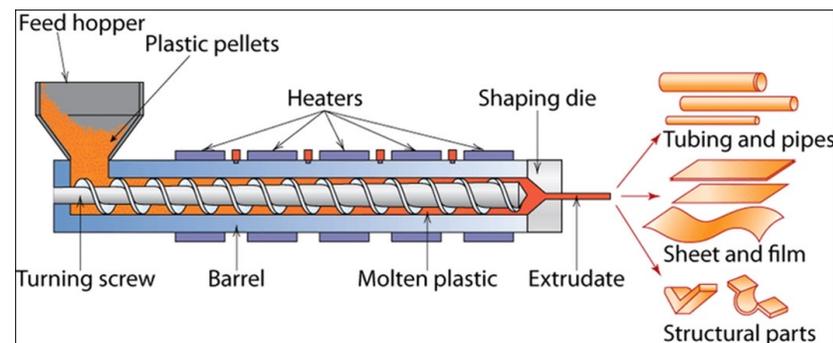
PELÍCULA SOPLADA



COEXTRUSIÓN



1. Extrusión
2. Formación de la película
3. Enfriamiento
4. Arrastre
5. Recogida



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

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

1.1. Base de los procesos de extrusión

3.1.1 Proceso de extrusión: descripción y equipamiento

3.1.2 Análisis del proceso de extrusión de un solo tornillo

1.2. Procesos industriales para la producción de envases flexibles

1.2.1. Extrusión de película fundida

Descripción del proceso

Diferentes tipos de troqueles de película fundida.

Boquillas con forma de percha

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

1.2.2. Película soplada

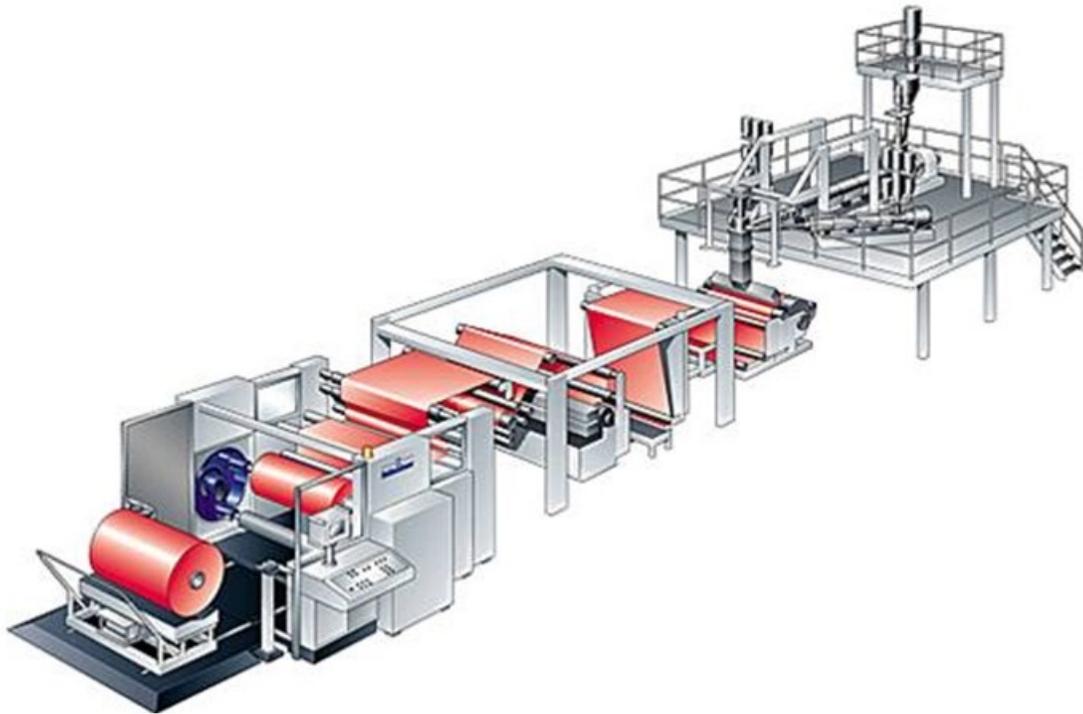
Parámetros de procesamiento para el soplado de películas.

Relación de extracción y relación de explosión

Altura de la línea de escarcha

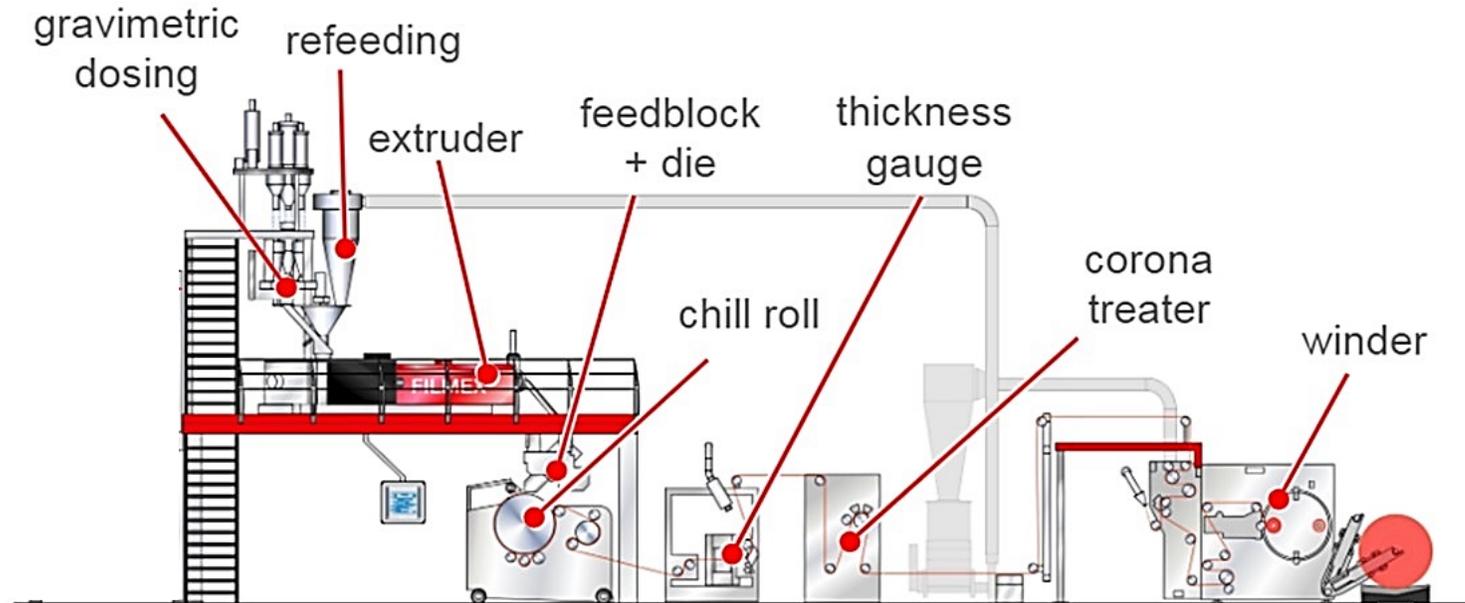
EXTRUSIÓN DE PELÍCULA FUNDIDA

La película fundida se produce extruyendo el polímero fundido a través de un perfil plano en forma de rendija. A la salida del cabezal plano, el film entra en contacto con un rodillo frío, donde comienza la fase de enfriamiento. En fase sólida, la película es empujada a través de una estación de medición, una zona de tratamiento superficial, una estación de corte y finalmente se envuelve en bobinas.

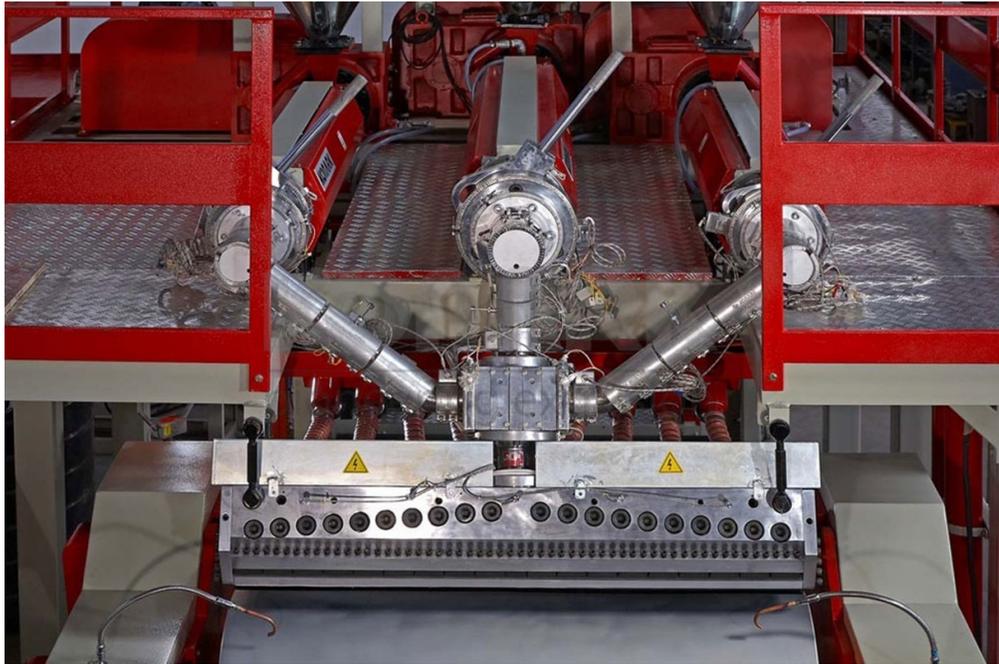


[https://www.youtube.com/watch?v=ggqtl02N -U](https://www.youtube.com/watch?v=ggqtl02N-U)

PLANTA DE EXTRUSIÓN DE PELÍCULA FUNDIDA



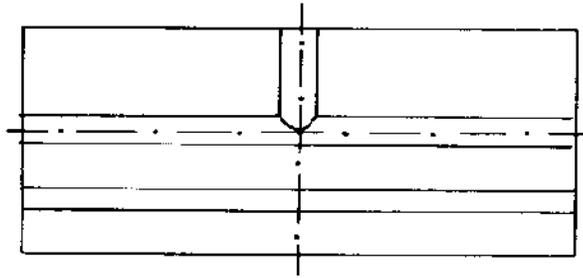
- ❑ **Extrusora**, ya sea de tornillo simple o doble, equipada con una boquilla plana en forma de rendija
- ❑ Rodillos de cromo pulido (**Rodillo frío**) para enfriar y pulir la película
- ❑ **Vacío** para eliminar el aire de detrás de la película para ayudar a depositarla en el rodillo de fundición
- ❑ **Rodillos extractores** para mantener una tensión constante en la película
- ❑ **Equipos para el tratamiento corona, llama o plasma** para mejorar la adherencia por impresión
- ❑ **Cortadora** para cortar la película a lo ancho
- ❑ **Bobinadora de alta velocidad** para enrollar la película



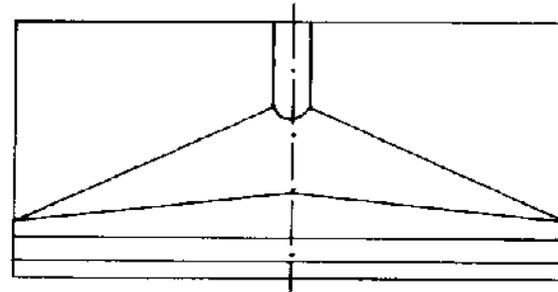
- ❑ El **troquel o boquilla de extrusión de película fundida** consiste en una ranura de forma plana con un perfil recto. La distribución del polímero fundido se logra mediante un colector y un canal de distribución, seguida de una zona de menor sección.
- ❑ A través de la boquilla de extrusión de película fundida, el polímero se somete a **deformación por cizallamiento**

El polímero fundido, que fluye a través de la matriz a lo largo de diferentes caminos, tiene diferentes valores de viscosidad ya que la sección y la velocidad cambian en cada camino.

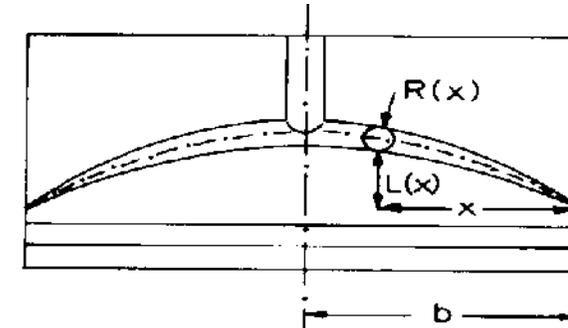
EXTRUSIÓN DE PELÍCULA FUNDIDA: Diseño de boquilla típico



Boquilla con forma de T



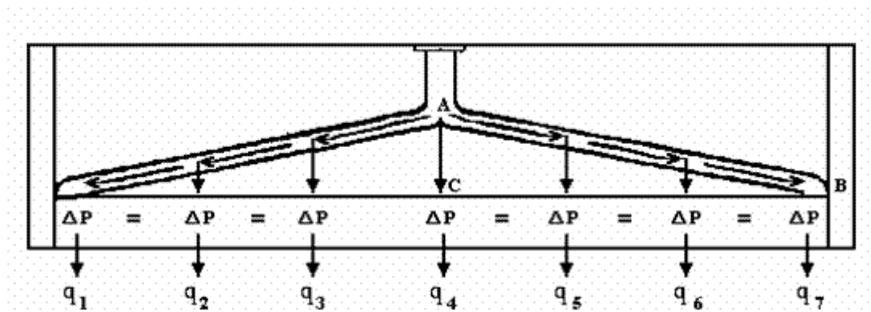
Boquilla con forma de cola de pez



Boquilla con forma de percha

ASUNTO CRÍTICO:

Es necesario dimensionar el recorrido de fusión (secciones transversales de la boquilla de extrusión) para que la cantidad deseada de polímero llegue a cada punto de la boquilla (en todo su ancho) y a una velocidad uniforme.



Para garantizar la misma tasa de polímero en cada punto de salida de la matriz, la tasa de flujo (q) y la diferencia de presión (ΔP) entre la entrada y la salida de la matriz de extrusión debe ser constante en todo el ancho de la película

La distancia entre los extremos exteriores de la boquilla de extrusión de película fundida (labios) se puede ajustar a lo largo de todo el ancho de la boquilla, por lo que es posible ajustar el espesor de la película y/o reducir cualquier falta de uniformidad.

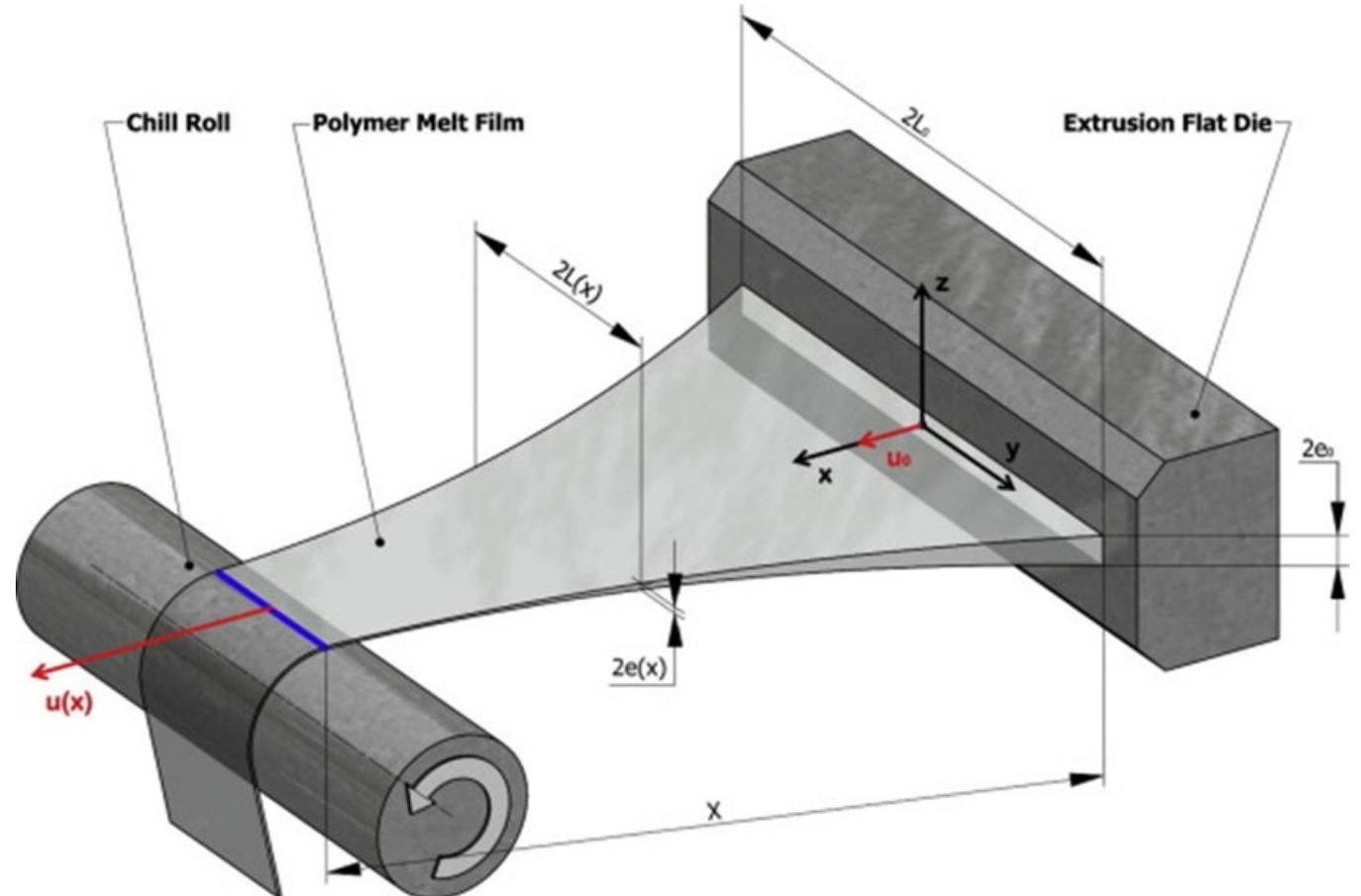
LA UNIFORMIDAD DEL ESPESOR DE LA PELÍCULA DEPENDE DE:

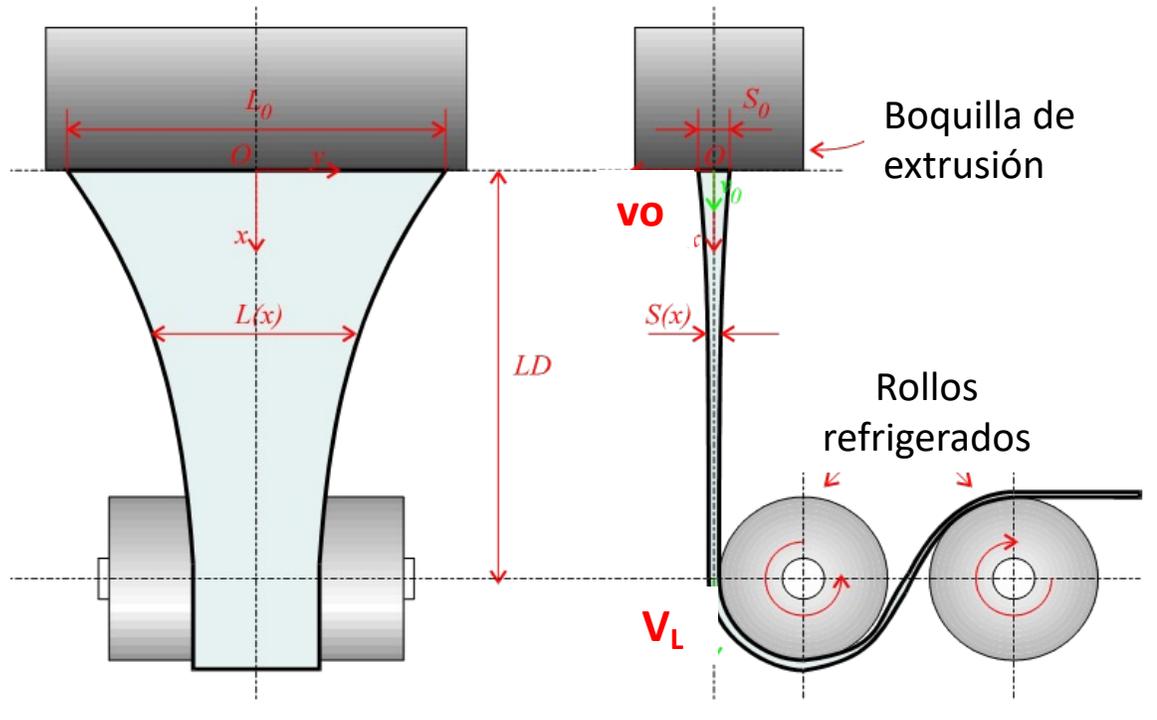
- ✓ uniformidad de la temperatura de fusión del polímero
- ✓ homogeneidad de la temperatura de la boquilla
- ✓ limpieza de la boquilla de extrusión de posibles productos de degradación

Es posible producir películas de un ancho de 2 metros con una uniformidad de espesor de más o menos el 3% en todo el ancho de la película.

EXTRUSIÓN DE PELÍCULA FUNDIDA: Parámetros de procesado

- TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN
- TEMPERATURA DEL RODILLO DE ENFRIAMIENTO
- DISTANCIA DE RECOGIDA
(distancia entre la boquilla y el rodillo enfriador)
- RELACIÓN DE ARRASTRE





EL PERFIL DE VELOCIDAD CAMBIA A LO LARGO DE LA DIRECCIÓN DE ESTIRAMIENTO

Derretir deformación:

durante la recogida sobre el rodillo frío, el material se somete a una deformación de alargado



Relación de arrastre:

$$DR = v_L / v_0$$

v_L = velocidad lineal del rodillo

v_0 = tasa de salida del polímero fundido

Curso 1-Procesos de Fabricación Novedosos para Sistemas de Envasado (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 tornillo

1.2. Procesos industriales para la producción de envases flexibles

1.2.1. Extrusión de película fundida

Descripción del proceso

Diferentes tipos de 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

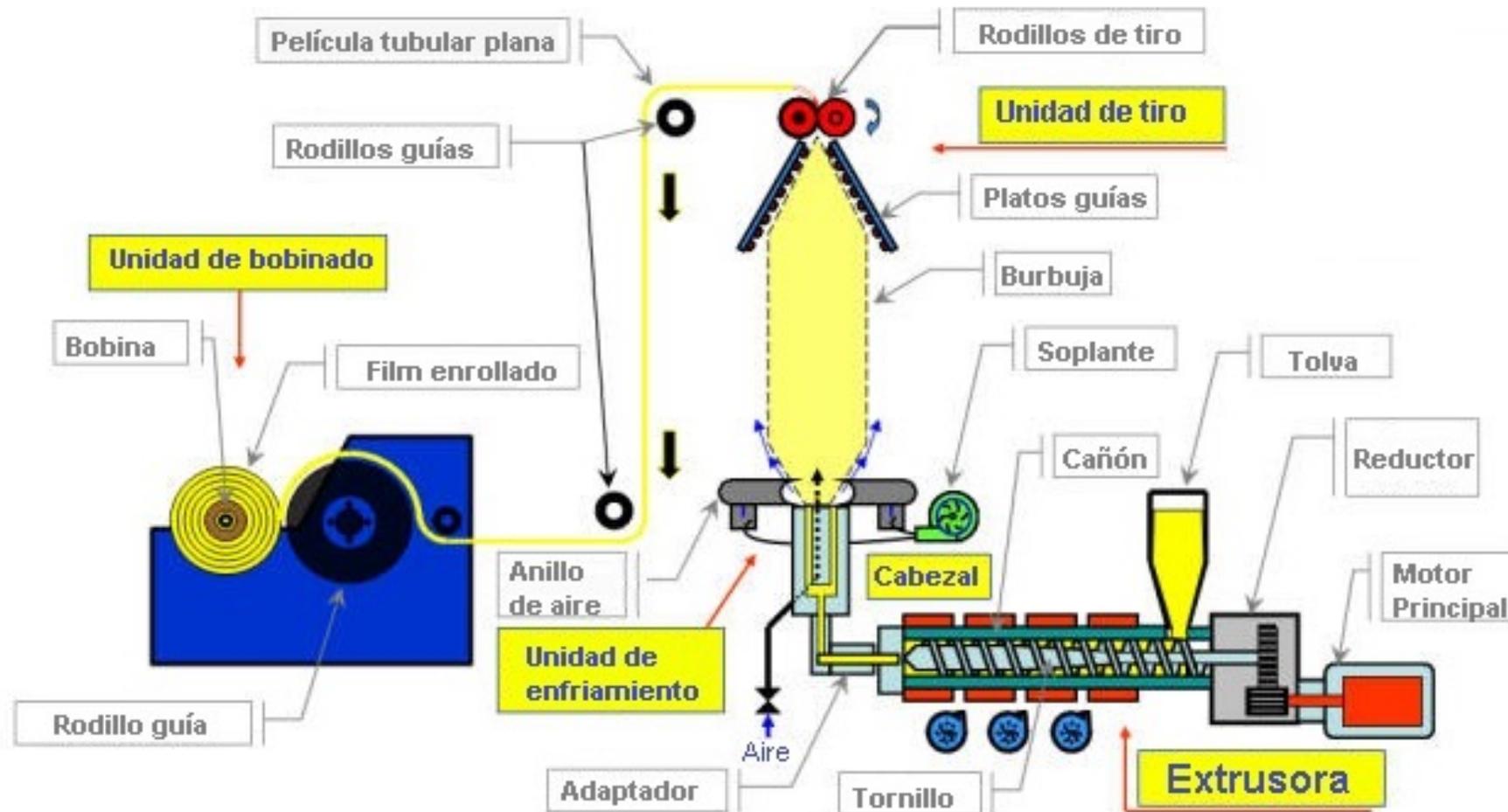
1.2.2. Película soplada

Parámetros de procesamiento para el proceso de soplado de películas.

Relación de extracción y relación de explosión

Altura de la línea de escarcha

EXTRUSIÓN DE PELÍCULA SOPLADA: Unidades principales de la planta

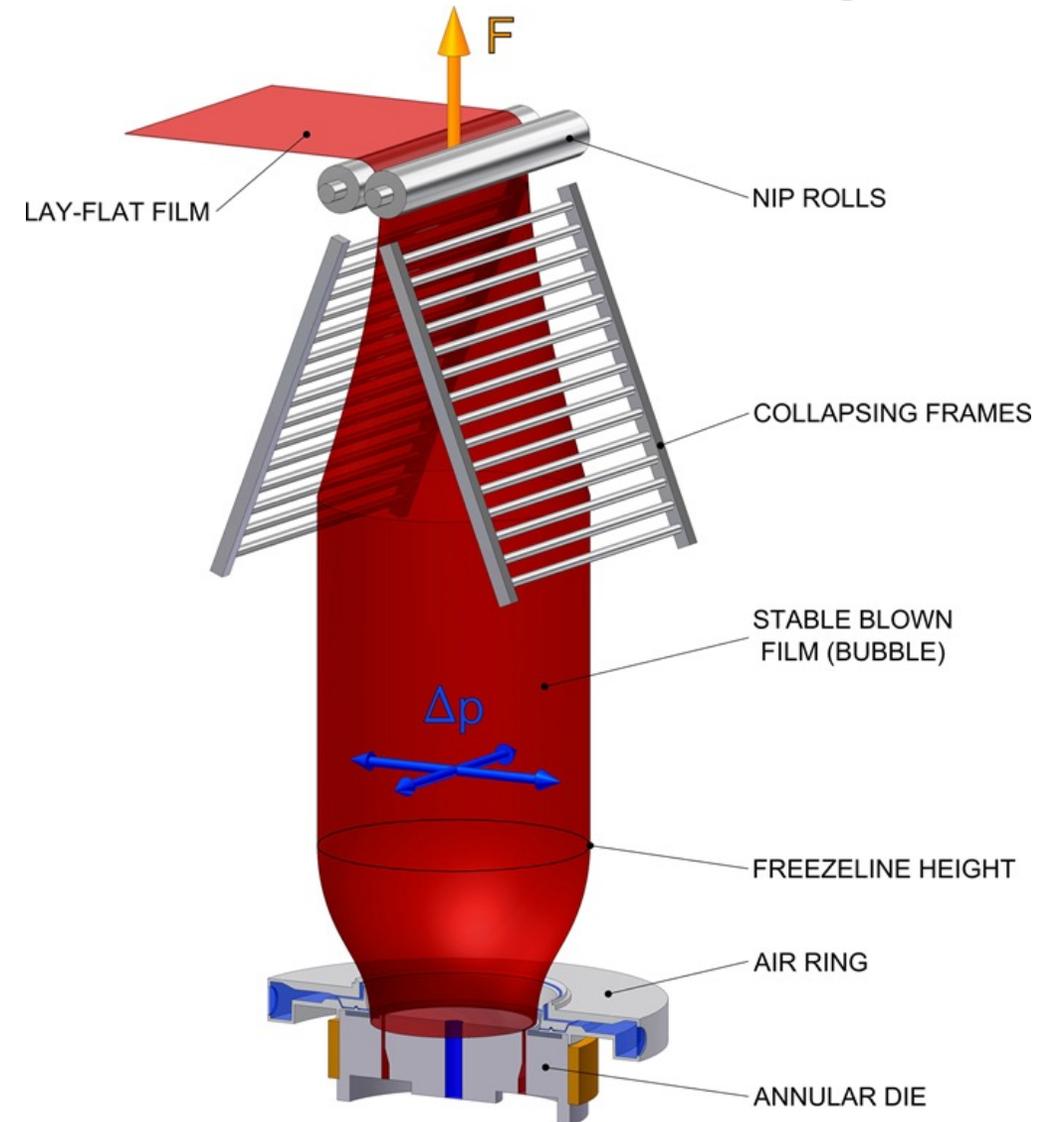


EXTRUSIÓN DE PELÍCULA SOPLADA: Descripción del proceso

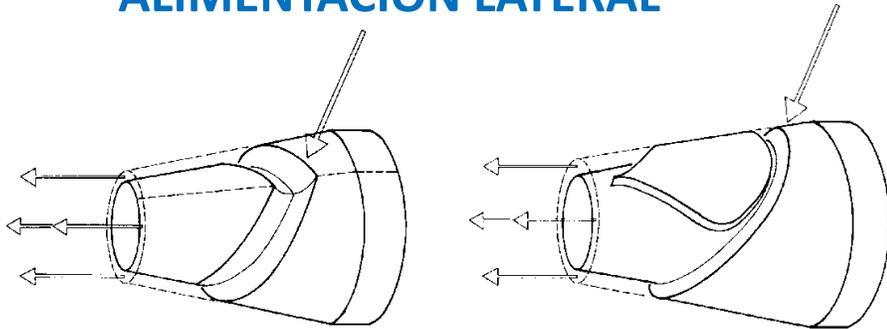
Una **extrusora** derrite la resina y la fuerza a través de una **boquilla anular**. La masa fundida extruida, en forma de tubo, fluye hacia arriba bajo la influencia de una fuerza vertical en "dirección de la máquina", aplicada por medio de **rodillos de tiro** a cierta distancia por encima de la boquilla.

El tubo se enfría por medio de un "**anillo de aire**" que dirige el aire a lo largo de su superficie exterior. También se introduce aire a través de un orificio en la boquilla para evitar el colapso del tubo de polímero fundido. Después de enhebrar el tubo entre los rodillos de tiro para formar un sello de aire, se introduce aire adicional, y en algún nivel por encima de los labios de la boquilla, el tubo se infla en dirección radial para formar una "burbuja".

<https://www.youtube.com/watch?v=nNgVzqfesog>



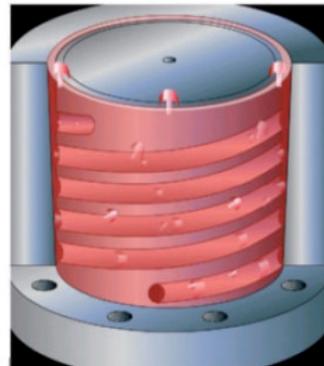
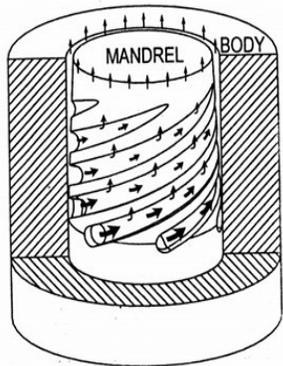
BOQUILLA DE ALIMENTACIÓN LATERAL



Es el tipo de troquel más simple y menos costoso, pero tiene algunos inconvenientes:

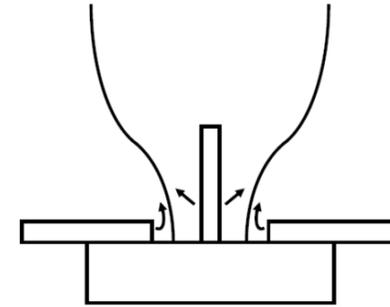
- líneas de soldadura
- dificultad para mantener la uniformidad del espesor de la película

BOQUILLA CON MANDRIL EN ESPIRAL



La transición de helicoidal a axial proporciona un efecto de mezcla que evita en gran medida las líneas de soldadura y permite que el flujo se distribuya uniformemente alrededor del mandril, lo que conduce a la uniformidad de la velocidad y, por lo tanto, del calibre a la salida de la boquilla.

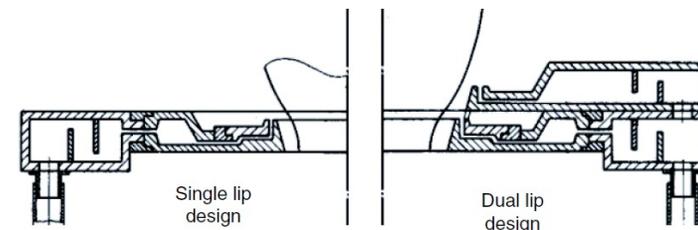
- ❑ Generalmente se logra soplando un gran volumen de aire sobre la película a medida que sale de la boquilla.
- ❑ Puede tener lugar sólo en el exterior de la burbuja o tanto en el interior como en el exterior.
- ❑ Es el factor limitante para maximizar el rendimiento.

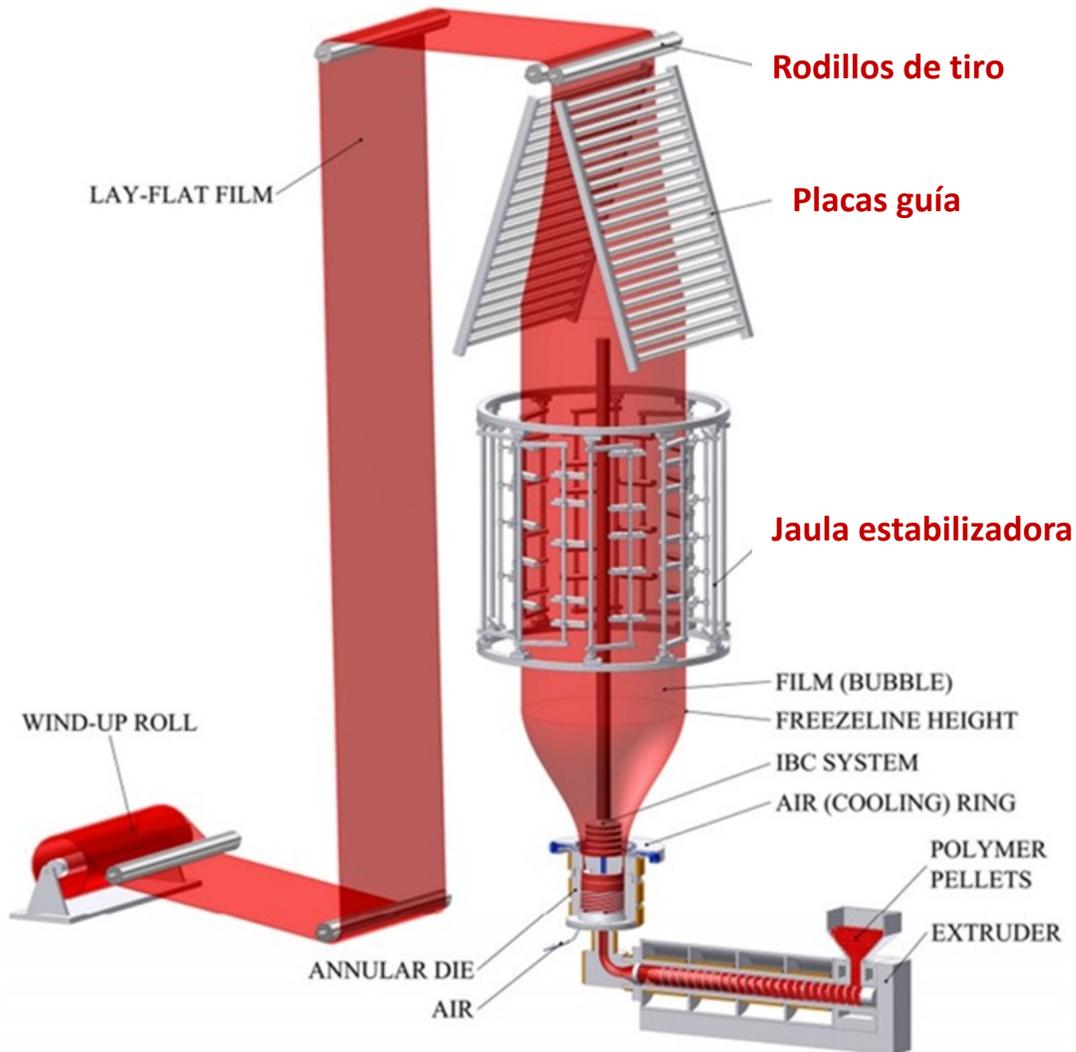


Tres variables primarias del proceso son responsables de la eficiencia del enfriamiento:

1. **Velocidad del aire** - A mayor velocidad del aire, se elimina más calor de la película por unidad de tiempo.
2. **Temperatura del aire** - El aire más frío eliminará el calor más rápidamente, pero el uso de aire enfriado aumenta los costes del procesado, por lo que se debe alcanzar un equilibrio.
3. **Humedad del aire** - Si se usa aire ambiental, la humedad variará según la estación y puede afectar la eficiencia de enfriamiento.

EL DISPOSITIVO RESPONSABLE DE LA REFRIGERACIÓN
ES EL ANILLO DE AIRE



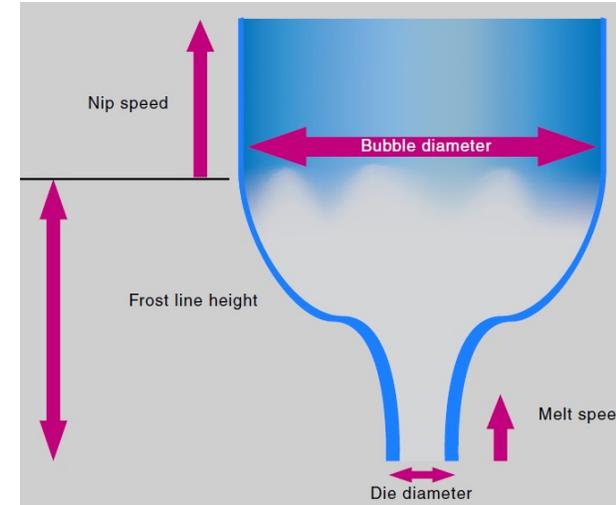


Las burbujas generalmente se estabilizan externamente usando dispositivos como una **JAULA**, para evitar el movimiento de la burbuja que resultará en espesores de pared no uniformes

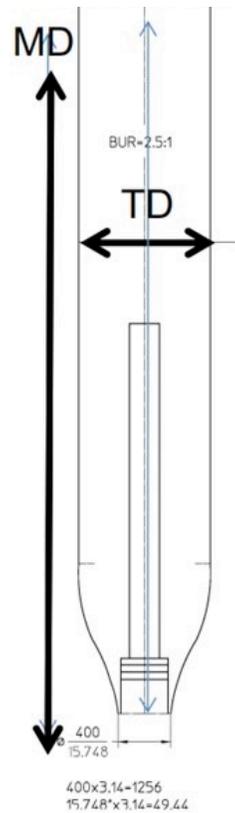
- ❑ A medida que la burbuja se mueve hacia arriba y se acerca a los rodillos de tiro, es "pre-aplanada" por las **PLACAS GUÍA**. Este dispositivo proporciona una transición suave de una forma de tubo redondo a una forma de tubo aplanado.
- ❑ Las placas guía también ayudan a eliminar las arrugas en el producto final.

Hay varios parámetros utilizados para describir la geometría de la burbuja:

- Diámetro de la boquilla
- Brecha de la boquilla
- Altura de la línea de congelación (FLH)
- Diámetro de la burbuja (D_b)
- Espesor de la película
- Ancho plano (LF)



- ✓ La "**LÍNEA DE CONGELACIÓN**" (o línea de solidificación) representa la parte de la burbuja donde el brillo de la película disminuye abruptamente, lo que denota la transición del estado del polímero de fundido a sólido. Convencionalmente, representa el punto más bajo donde la burbuja tiene su diámetro máximo, ya que no se produce ningún estiramiento adicional por encima de este punto. La distancia desde la boquilla hasta la línea de congelación se llama **altura de la línea de congelación (FLH)**.
- ✓ Una vez que la película pasa a través de los rodillos de tiro, la película plana se caracteriza por un **ancho plano**. El doble del ancho plano es equivalente a la circunferencia de la burbuja (o $D_b = 2 LF/\pi$). Esta ecuación es una herramienta útil para determinar el diámetro de la burbuja.

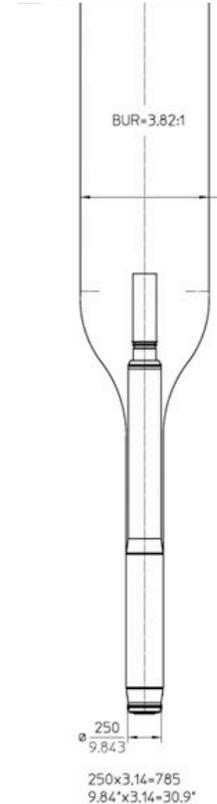


Cuello
corto

LA BURBUJA DE BOLSILLO

- Tiene poco o ningún tallo, comenzando su expansión casi inmediatamente por encima de la superficie de la boquilla;
- tiende a ser bastante estable debido a que el aire de enfriamiento proporciona una solidificación temprana.

Esta forma se utiliza principalmente para **LDPE**, **LLDPE**, y **PP**.



Cuello
largo

BURBUJA DE TALLO LARGO

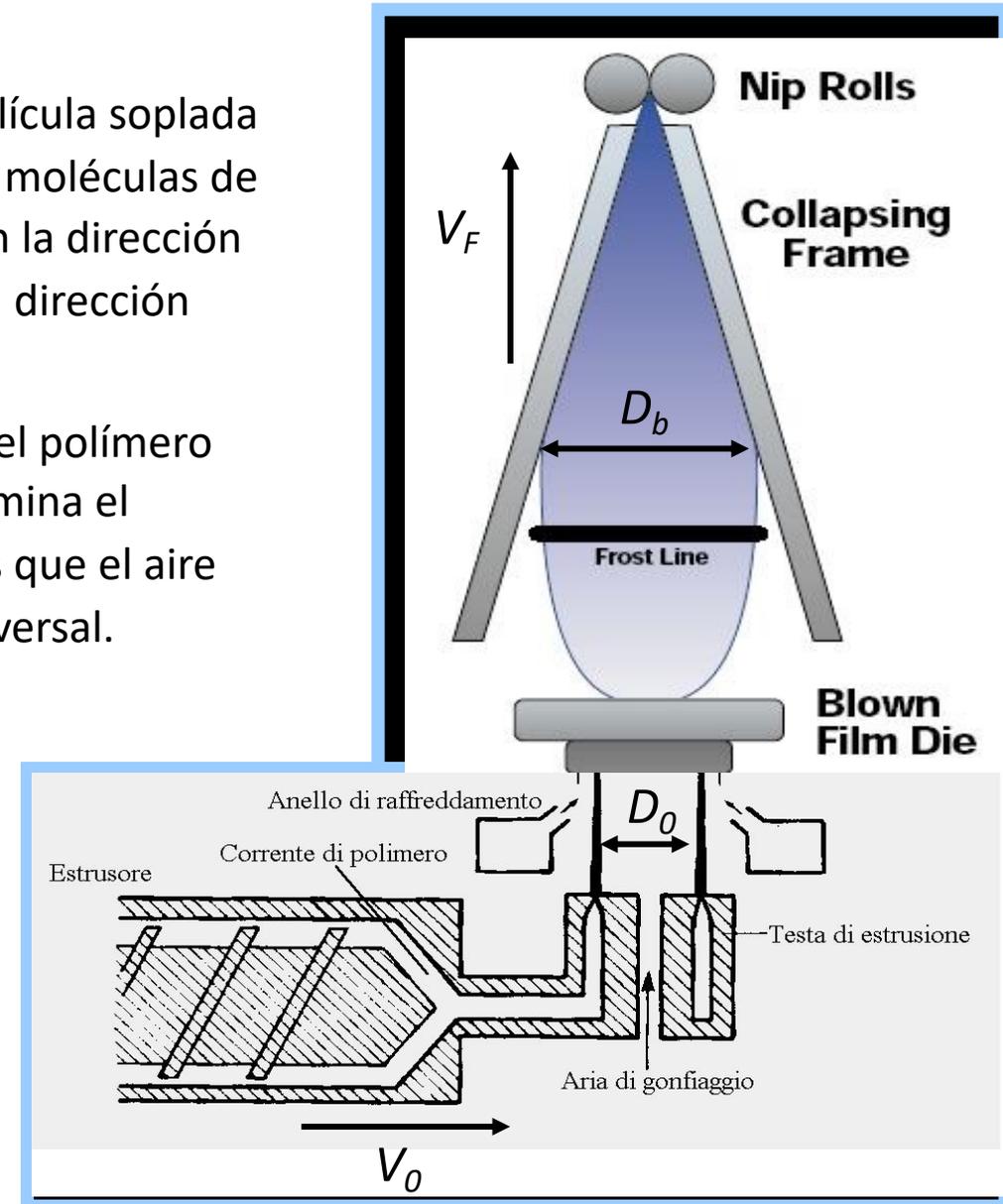
- El estiramiento TD se retrasa hasta que el polímero alcanza una temperatura más baja, lo que permite una fusión más estable y proporciona mayor tensión durante el estiramiento TD.

Este tipo se utiliza principalmente para **HDPE** debido a la resistencia a la fusión relativamente baja de ese material.

- ❑ La característica de procesamiento más importante de la extrusión de película soplada es la capacidad de impartir **orientación biaxial**, eso significa que las moléculas de polímero están alineadas en el plano de la película, es decir, tanto en la dirección de la máquina (MD, a lo largo del eje largo de la burbuja) como en la dirección transversal (TD, alrededor de la dirección del aro de la burbuja).
- ❑ La **deformación se produce antes de la línea de congelación** donde el polímero todavía es fluido. En esta zona, la acción de los rodillos de tiro determina el estiramiento de las cadenas de polímero en dirección axial, mientras que el aire que sopla promueve el estiramiento del polímero en dirección transversal.

Para cuantificar la orientación:

- $TUR = V_F / V_0$ (Proporción de absorción)
- $BR = D_b / D_0$ (Proporción de explosión)



VARIABLES DE PROCESO vs GEOMETRÍA DE BURBUJAS

Varias variables de proceso trabajan juntas para determinar la geometría de la burbuja:

- ❑ **Velocidad de fusión** (Está controlado por la velocidad del tornillo, pero no es lo mismo que la velocidad del tornillo)
- ❑ **Velocidad de tiro**
- ❑ **Volumen de burbuja interna**
- ❑ **Velocidad de enfriamiento** (velocidad y temperatura del aire de refrigeración)

Hay algunas otras variables del proceso que influyen en la geometría de la burbuja, como las **temperaturas del proceso**, el **diseño de la boquilla**, la **composición del material de alimentación**, y las **propiedades de flujo de los polímeros**, pero generalmente permanecen constantes para una ejecución determinada.

Variable to increase	Film thickness	Bubble diameter	Frost-line height
Nip speed	↓*	↑	↑
Screw speed	↑*	↑	↑
Cooling speed	↑	↓	↓*
Bubble volume	↓	↑*	↓

* Primary response

Fuente: Kirk Cantor, *Blown Film Extrusion, An Introduction*



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 el 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.

