



Ecodiseño en el Envase de Alimentos

Unidad 8: Plásticos en Envasado Alimentario

Gabriel Laslu, Dipl. Eng. (IDT1), gabriel.laslu@gmail.com

Gabriel Mustatea, Ph. D. gabi.mustatea@bioresurse.ro

8.1 Definiciones, clasificación, plásticos utilizados en envasado alimentario	2
8.2 Reciclado de plásticos.....	7
8.2.1 La importancia de reciclar	7
8.2.2 Sistema de identificación de plásticos SPI	9
8.3 Tecnologías del embalaje de plástico.....	13
8.3.1 Extrusión	13
8.3.2 Termoformado	18
8.3.3 Moldeo por inyección.	19
8.3.4 Moldeo por compresión	21
8.4 Diseño de envases plásticos para su reciclaje.....	21
8.4.2 Permeabilidad de los plásticos.....	23

Al finalizar esta unidad, el alumno será capaz de:

- Objetivo 1: conocer los principales tipos de plásticos utilizados en el envasado de alimentos;
- Objetivo 2: conocer la importancia y las posibilidades del reciclaje y la reutilización de los residuos plásticos;
- Objetivo 3: conocer los principios básicos de las tecnologías para obtener envases de plástico;
- Objetivo 4: poder utilizar el conocimiento de diseño de envases plásticos en la actividad actual del ecodiseño.



8.1 Definiciones, clasificación, plásticos utilizados en envasado alimentario

El plástico es un material sintético hecho a partir de una amplia gama de polímeros orgánicos, como polietileno, PVC, nylon, etc., que se pueden moldear en diversas formas y luego se pueden fijar en una forma rígida o elástica.

Los plásticos son ampliamente utilizados para materiales de envasado y en la construcción de equipos e instalaciones, procesamiento de alimentos, porque:

- son flexibles y pueden moldearse bajo ciertas condiciones, para la fabricación de láminas en diferentes formas y estructuras;
- en general son químicamente inertes, aunque no necesariamente impermeables;
- son rentables y satisfacen las necesidades del mercado;
- son ligeros;
- proporciona opciones en términos de transparencia, color, aislamiento térmico, resistencia al calor y propiedades de barrera.

Hay dos amplias categorías de plásticos: termoplásticos y materiales plásticos termoestables. Los termoplásticos se puede calentar para formar el producto y luego si estos productos finales se vuelven a calentar, el plástico se ablandará y se fundirá nuevamente. Por el contrario, los materiales termoestables pueden fundirse y formarse, pero una vez formados, después de que se han solidificado, permanecen sólidos y, a diferencia de los termoplásticos, no pueden volver a fundirse.

-Ventajas de materiales plásticos termoestables:

- a) más resistentes a las altas temperaturas que el termoplástico;
- b) el diseño extremadamente flexible;
- c) puede lograr paredes gruesas o paredes delgadas;
- d) excelente apariencia estética;
- e) altos niveles de estabilidad dimensional;
- f) menor costo en comparación con el termoplástico

-Ventajas termoplásticos:

- a) muy reciclables;
- b) son estéticamente superiores;
- c) alta resistencia al impacto;
- d) capacidad de ser fundido nuevamente en diferentes formas;
- e) resistencia química;



- f) opciones en la superficie, pueden ser cristalinas o gomosas;
- g) producción orgánica.

-Desventajas de materiales plásticos termoestables:

- a) no pueden ser reciclados;
- b) más difíciles de terminar;
- c) no pueden ser fundidos de nuevo o remodelado.

-Desventajas termoplásticos:

- a) generalmente más caros que los termoestables;
- b) se puede derretir si se calienta por accidente.

En la UNIDAD IV, se presentaron los conceptos sobre legislación de la UE relacionados con materiales de embalaje, plástico, plástico reciclado, películas plásticas, también, se presentaron los conceptos relacionados con las propiedades relacionadas con la barrera y la migración (véanse también los anexos 1 y 3 de la UNIDAD IV)

Los tipos de polímeros utilizados para las características de envasado de alimentos son:

- Polyethylene - polyethylene (PE);
- Polypropylene;
- Polypropylene (PP);
- Polyesters - polyesters (PET, PEN, PC) (note: sometimes the PET's mark and PETE);
- Polyvinyl chloride - polyvinyl chloride (PVC);
- Polystyrene - polystyrene (PS);
- Ionomers – ionomers;
- Ethylene Vinyl Acetate - the Acetate of ethylene-vinyl - ethylene vinyl acetate (EVA);
- Polyamides - polyamides (PA);
- Polyvinyl chloride-fluoride - polyvinylidene chloride (PVdC);
- Butadiene styrene - styrene butadiene (SB);
- Acrylonitrile Butadiene Styrene - acrylonitrile butadiene styrene (ABS);
- The ethylene – vinyl alcohol - ethylene vinyl alcohol (EVOH);
- Polymethyl pentane - polymethyl pentene (PMP or TPX);
- Polymers nitrilici of the high-polymerization - high nitrile polymers (HNP);
- Fluoropolymers - fluoropolymers (PCTFE/PTFE);
- Materials based on cellulose - cellulose-based materials;
- Polyvinyl acetate - polyvinyl acetate (PVA).



Todos los materiales anteriores son termoplásticos. En la UE, constituyen el 56% del total de los plásticos utilizados, PP, PET, PS (incluido EPS de poliestireno expandido) y PVC, que constituyen la mayor parte. Los otros plásticos mencionados se usan para mejorar las propiedades de la barrera, sellado al calor, la unión o la resistencia al calor.

Aquí se caracterizarán los materiales plásticos, PP, PET, otras características del resto de los materiales que se encuentran en el anexo 2.

- Poliéster:

- Polyethylene (PE) - Es el polímero más usado en tonelaje y rentabilidad. Las condiciones de procesado controlan el grado de ramificación en la cadena del polímero y, por lo tanto, la densidad y otras propiedades de los films y otros tipos de envases. Con sellados bien calentados, las películas hechas de PE presentan una buena barrera a la humedad y al vapor de agua, pero no al O₂, CO₂ y otros gases, sin embargo, las propiedades de barrera aumentan con la densidad del material. Tiene un punto de fusión de 120 °C, que también aumenta con la densidad. Tipos de polietileno utilizado: LDPE - baja densidad (PE de baja densidad) fabricado en general en películas de 30 µm, LLDPE - film LDPE lineal (PE lineal de baja densidad), tiene una cadena de polímero más corta y tiene propiedades superiores en cuanto a resistencia para desgarrar e impactar. MDPE o film PE de densidad media tiene una resistencia mecánica mayor que LDPE. El LDPE se puede coextruir con MDPE para combinar la estanqueidad adecuada del LDPE con la resistencia del MDPE, por ejemplo. para recubrimiento por extrusión de sobres para mezclas de sopas deshidratadas. HDPE o PE de alta densidad es el polímero más resistente y se puede extruir en películas (láminas) delgadas. Estos films se utilizan para las aplicaciones de tipo "hervir en la bolsa". Para mejorar la capacidad de sellado, el HDPE puede coextruirse con LDPE. El HDPE se utiliza para cierres, cajas, paletas y tambores moldeados por inyección, y puede ser moldeado por „rotary knob” para contenedores con volumen intermedio. Una aplicación importante de HDPE son los envases de leche, moldeados por soplado, con una capacidad de 0.5-3 l;

- Polypropylene (PP) - El polímero es una resina más dura, más densa y más transparente en su forma natural. El PP tiene la densidad más baja y el punto de fusión más alto de los termoplásticos utilizados a gran escala y tiene un costo relativamente bajo. El plástico tiene muchas aplicaciones para el envasado de productos alimenticios, como la película flexible y la forma rígida. El alto punto de fusión de PP (160 ° C) lo hace adecuado para aplicaciones donde se requiere resistencia al calor, por ejemplo en el envasado de llenado en caliente y en horno de microondas. El PP se puede laminar por extrusión con el PET o con otras películas resistentes a altas temperaturas para obtener tiras de termosellado que puedan soportar temperaturas de hasta 115-130 ° C, para esterilización y uso en bolsas de autoclave. La película fundida se vuelve frágil incluso por debajo de 0 ° C y las grietas de tensión sobresalen por debajo de -5 ° C y, por lo tanto,



no deben usarse si la aplicación requiere congelación. La película OPP o BOPP (película de PP orientada), por otro lado, es adecuada para su uso en almacenamiento por congelación. Las películas OPP no se sueldan fácilmente por calentamiento, porque la temperatura de fusión está próxima a la temperatura de contracción de la película.

Sin embargo, el OPP cubierto con acrílico se puede trabajar bien, incluido en el sellado térmico. El recubrimiento acrílico también proporciona una buena barrera a los olores. Se obtiene una barrera para mejorar el gas y el vapor de agua recubriendo con PVdC - cloruro de polivinilo - vinilideno (cloruro de polivinilideno). PP y PE tienen los valores más bajos de tensión superficial y requieren un tratamiento adicional para que sean adecuados para impresión, recubrimiento y laminación.

Esto se logra con una corriente eléctrica de descarga de alta tensión (corona), con tratamiento con ozono o mediante chorros de gas. Estos tratamientos son de fácil oxidación de la superficie y, por lo tanto, mejoran la adhesión o fijación de recubrimientos, tintas, estampados y adhesivos. La gama de productos alimenticios envasados en películas PP incluye, galletas, patatas fritas (chips) y snacks, chocolate y productos de confitería, helados y alimentos congelados, té y café. La película metalizada, PP, puede utilizarse para aperitivos y patatas fritas (chips) en los que es necesaria una barrera de mayor duración o un mayor tiempo de almacenamiento. El cartón puede ser cubierto por extrusión con PP para ser utilizado en el envasado de alimentos congelados / refrigerados en las bandejas que el consumidor puede calentar en el microondas y en el horno. Las principales aplicaciones del PP en alimentación son en vasos y tubos, moldeados por inyección para yogur, helado, mantequilla y margarina;

- Polyethylene terephthalate (PET o PETE) - PET es un poliéster resultante de la polimerización del ácido tereftálico con el alcohol etilenglicol. Puede ser: soplado, inyectado en moldes, espumado, recubierto por extrusión en el cartón o extruido en láminas para termoformado, puede orientarse en biaxial (véase también el punto 8.3). El espesor de la película varía entre 12 μm , para películas del poliéster, hasta los 200 μm de las películas del compuesto fabricado por laminación. Las películas de PET no usan aditivos. El PET tiene una resistencia más alta que otros polímeros, y por la orientación de las fibras adquiere una alta resistencia a la rotura. Tiene más radicales que se unen con otros compuestos químicos, dando a la superficie una mayor reactividad con las tintas. El PET se derrite a una temperatura alta de 260 $^{\circ}\text{C}$ y no se contrae por debajo de 180 $^{\circ}\text{C}$. Esto hace que el PET sea bueno para su uso en aplicaciones de alta temperatura, tales como esterilización con vapor ("hervir en la bolsa") y para hornear o recalentar en el horno de microondas o convencional. La película es flexible a -100 $^{\circ}\text{C}$. Se puede laminar con PE para obtener buenas propiedades de termosellado. Además, el uso del recubrimiento con PCdC ofrece una buena resistencia de barrera y capacidad de termosellado. Es un medio de barrera para O_2 , pero por metalización con papel de aluminio presenta altas propiedades de barrera para O_2 y vapor de agua y se utiliza en



bolsas de café al vacío, y si se lamina en ambos lados con EVA se utiliza en bolsas para líquidos teniendo propiedades de alto sellado. El cartón extruido con PET se utiliza para fabricar bandejas para calentar alimentos. El PET se utiliza en la fabricación de botellas para todas las bebidas carbonatadas y aguas minerales

- Otro polyester es el polyethylene naphthalene dicarboxylate (PEN) - Es resistente a los rayos UV y es más resistente a la temperatura que el PET. Puede ser fabricado como película y soplado en el molde como el vidrio, se usa como monómero o copolímero con PET;
- Polycarbonate (PC) - Es un poliéster que contiene un grupo carbonato en su estructura. Principalmente se utiliza como sustituto del vidrio, resistente al calor y muy resistente y duradero. En el pasado se usaba para botellas de leche retornables, bandejas de cocina para alimentos congelados y si se coextruía con nylon se podía usar para bebidas carbonatadas
- Polyvinyl chloride (PVC) - El PVC no plastificado (UPVC) tiene propiedades útiles, pero es un material duro, quebradizo, y son necesarios algunos cambios para que se pueda utilizar con éxito. La flexibilidad se puede lograr mediante la inclusión de plastificantes dando una superficie de baja fricción con los agentes de deslizamiento y también se pueden conseguir varios colores al agregar pigmentos, así como mejorar la temperatura del procesamiento mediante la adición de agentes estabilizantes. Hay que tener una gran precaución en la elección de los aditivos utilizados en la película que entrarán en contacto directo con los alimentos, en particular con respecto a la migración de los componentes de los envases en los productos alimenticios. El rígido UPVC se utiliza para compartimentos de bandeja transparentes o de color para chocolate y galletas. Se utiliza con MAP (atmósferas modificadas) para bandejas termoformadas para envasar ensaladas, sándwiches y carnes cocidas. La mayoría de las películas de PVC se producen por extrusión. Se puede orientar para producir una película de alta contracción. Hasta un 50% de contracción es posible a temperaturas bastante bajas. El PVC impreso se puede usar para etiquetas de sellado en caliente en envases de plástico o vidrio.
- Polystyrene (PS) - PS tiene muchos usos en envasado y embalaje y puede extruirse como una película monocapa coextruida como película termoformable, moldeada por inyección y espuma para proporcionar una gran gama de tipos de envases. También se copolimeriza para expandir sus propiedades. Tiene buena transparencia. Es rígido, con un rizo característico, que sugiere frescura. Se usa una película pigmentada blanca para las etiquetas. La película es imprimible. Tiene bajas propiedades de barrera para el vapor de agua y el gas común, es adecuado para el envasado de productos frescos que necesitan respirar. La



principal desventaja es que PS da lugar a un contenedor rígido o semirrígido y frágil. Por lo tanto, se puede mezclar con un copolímero de butadieno estireno, SB o SBC. La mezcla se conoce como poliestireno de alto impacto o HIPS. La mezcla produce un material más duro. Es translúcido y se usa a menudo en forma blanca pigmentada. La placa HIPS puede ser termoformada para una vida útil corta de los productos lácteos.

HIPS también se usa en la extrusión de láminas multicapa con una variedad de otros polímeros, PE, PP, PET, PVdC y EVOH. Los productos alimenticios envasados con estos materiales incluyen productos lácteos como crema y postres de yogur, leche UHT, queso, mantequilla, margarina, mermelada, compota de fruta, carne fresca, pasta, ensaladas, etc. Muchos de estos productos se envasan asépticamente con termoformado, llenado y máquinas de sellado.¹

- Aditivos: Los productos de plástico no tendrían aplicación comercial sin aditivos. Los aditivos son productos químicos orgánicos o inorgánicos que permiten el procesamiento de plásticos, la configuración de su uso y la mejora de su rendimiento de uso final. La composición del plástico tiene un contenido en aditivos que puede variar entre el 0,05% y el 20% en peso. Los aditivos se clasifican por su función y no por los productos químicos que contienen y se utilizan de conformidad con la legislación y las normas medioambientales de la UE. Aproximadamente el 75% de todos los aditivos se usan en PVC. Los aditivos que se utilizan para modificar las propiedades de los plásticos representan aproximadamente el 70% de su total, el 23% se aplican para conseguir otras propiedades y aproximadamente el 7% para ayudar en el procesamiento de plásticos.²

¹ RICHARD COLES, DEREK MCDOWELL, MARK J. KIRWAN FOOD PACKAGING TECHNOLOGY, Blackwell Publishing Ltd, 2003

² Plastic Packaging edited by Otto G Piringer & Albert L. Baner

8.2 Reciclado de plásticos

8.2.1 La importancia de reciclar

En la actualidad los plásticos se usan hoy en día con mucha frecuencia, pero tienen una larga vida útil de más de 500 años de resistencia ambiental sin descomponerse. Este



el motivo por el que el reciclaje y la recuperación de estos materiales al final de su vida útil se han convertido en un factor esencial requerido por la UE. Los envases de plástico son altamente reciclables y una gama creciente de envases de plástico ya incorpora material reciclado. La legislación de la UE ahora permite el uso de plásticos reciclables en nuevos envases para alimentos. Reciclar una tonelada de botellas de plástico ahorra 1,5 toneladas de carbono y una botella de plástico ahorra suficiente energía para una bombilla de 60 vatios durante 6 horas.³

El uso de solamente un material o materiales mezclados del mismo tipo son los materiales adecuados para el reciclador, y las combinaciones de diferentes tipos de plástico con densidades similares deben evitarse siempre que sea posible. El objetivo es minimizar la cantidad de plásticos utilizados y especificar qué plásticos se pueden reciclar juntos o separar fácilmente en el proceso de reciclaje. Sin embargo, esto no es fácil muchas veces cuando se necesita por un lado conseguir las propiedades técnicas requeridas y por otro satisfacer las necesidades de los usuarios.

Bajo estas condiciones, se deben usar materiales de densidad diferente para facilitar la separación de materiales incompatibles durante el corte o trituración mecánica, o posteriormente en el proceso de lavado. Deben evitarse combinaciones de diferentes tipos de plástico de la misma densidad.

- El PET es más denso que el agua y se hundirá en ella. En el proceso de lavado de PET, las tapas o etiquetas hechas de polipropileno (PP) o polietileno de alta densidad (HDPE) flotarán y se pueden quitar fácilmente.

- Deben evitarse o al menos minimizar los rellenos que modifican la densidad del plástico ya que reducen la calidad del material reciclado.

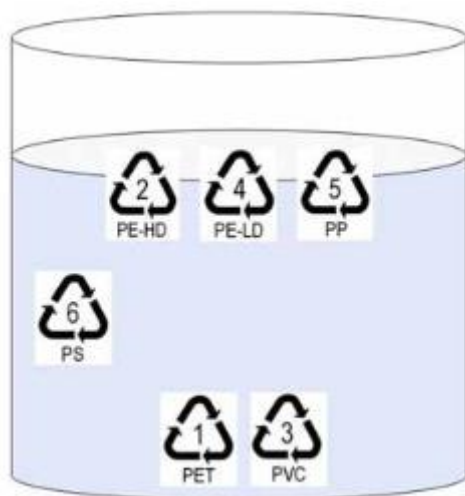
- La contaminación por PET de PVC es un problema potencialmente importante porque estos dos polímeros tienen densidades cercanas y son más pesados que el agua. La presencia de niveles muy bajos de PVC (entre 50 y 200 ppm) en el PET reciclado causa un deterioro significativo de las propiedades químicas y físicas y puede inutilizar grandes cantidades de PET reciclado para la mayoría de sus aplicaciones. Por esta razón, se debe evitar escrupulosamente el uso de componentes de PVC de cualquier tipo en la fabricación de envases de PET. Estos componentes generalmente incluyen sellos, etiquetas, fundas y sellos de seguridad.

- Se debe evitar el uso de PLA (un material biodegradable) con PET. Los dos polímeros son incompatibles y no se pueden separar fácilmente (ambos tienen una densidad $> 1 \text{ g/cm}^3$). La presencia de niveles muy bajos de PLA en el PET causa la opacidad del recipiente y un deterioro de las propiedades físicas del PET reciclado. Además, el PLA causa problemas de procesamiento en la secadora porque se derrite a la temperatura de secado.⁴

³ Plastics packaging / www.bpf.co.uk

⁴ PETCO_Design_4, Plastics packaging recyclability by design – Recycling guide www.petco.co.za





Specific gravity of various plastics	
Plastics	Specific gravity
LDPE	0.91~0.93
HDPE	0.94~0.97
PP	0.90~0.91
PS	1.04~1.07
PVC	1.35~1.45
ABS	0.99~1.10
Polyester	1.38~1.39
PC	1.2
Nylon 66	1.13~1.15
Teflon	2.1~2.2

Source: "Polymer dictionary" by Taiseisha Co., Ltd (1970)

Fig 1.: Las densidades de los polimeros utilizados en envasado.




8.2.2 Sistema de identificación de plásticos SPI

Con fines de mejorar el reciclaje y para facilitar una correcta clasificación de botellas y recipientes de plástico, que se encuentran con frecuencia en residuos domésticos, la Sociedad de la Industria Plástica (SPI) creó en 1988 el Sistema de Símbolos para la Identificación de Resinas SPI, también conocido como el sistema de codificación de plástico para envases de este material. Para facilitar la identificación visual del tipo de plástico durante la separación manual, el contenedor y la cubierta de plástico deben llevar un identificador de material (símbolo). El símbolo debe ser visible y preferiblemente puesto en la superficie del contenedor o, en el caso de películas, impreso repetidamente en el material. Los identificadores generalmente deben clasificarse en la base del contenedor. Excepcionalmente, el identificador puede ubicarse cerca de la base o impreso en la etiqueta. La Tabla 1 muestra las siete categorías de plástico simbolizadas por SPI.





Las primeras seis categorías indicadas representan aproximadamente el 90% de todos los plásticos producidos. Alrededor del 8% de los plásticos utilizados son los llamados "plásticos de ingeniería", cuyas propiedades mecánicas y capacidad de carga se han incrementado. Ejemplos: poliamida (PA), policarbonato (PC), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), estireno acrilonitrilo (SAN), poliéster, etc.⁵ Véase también el punto 8.1 y el anexo 2.



Tab. 1: Símbolos SPI para plásticos:

SIMBOLO SPI	CARACTERIZACIÓN	RECICLAJE
 PET/PETE	<p>PLASTICO # 1 - POLYETHYLENE TEREPHALATE - PETE o PET - Los recipientes hechos de este plástico a veces absorben los olores y sabores de los alimentos y bebidas que se almacenan en ellos. Se utilizan para: refrescos, agua y otras botellas de bebidas, mantequilla de cacahuete y otros recipientes para detergentes, productos de limpieza, etc..</p>	<p>Los residuos de PET se reciclan en: botellas nuevas, poliéster para telas y alfombras, relleno de parachoques de automóviles, sacos de dormir, etc.</p>
 HDPE	<p>PLASTICO # 2 - HIGH DENSITY POLYETHYLENE - HDPE POLYETHYLENE - Los productos HDPE son muy seguros y no se conocen casos de transmisión de productos químicos en alimentos o bebidas. Se utilizan para: recipientes de leche y agua, algunas bolsas de plástico, recipientes para detergentes, champú y aceite de motor, etc.</p>	<p>Los contenedores transparentes de HDPE son fáciles de reciclar en contenedores nuevos. Los desechos de HDPE coloreados se convierten en madera plástica, bordillos de jardín y césped, tuberías, cuerdas y juguetes.</p>
 PVC/V	<p>PLASTICO # 3 - POLYVINYL CHLORIDE - PVC O V - El contenido en monómero de cloruro de vinilo por el que se polimeriza el PVC es carcinógeno y su contenido se ha limitado drásticamente. Además, otros productos químicos peligrosos se utilizan comúnmente como aditivos en el PVC, que no están unidos químicamente y pueden infiltrarse durante su uso y eliminación como residuos. El plastificante más común (ftalato de DEHP) es también sospechoso de ser carcinogénico. Los diluyentes de ácido ftálico son contaminantes globales y más del 90% se usan solo para la producción de PVC. Las láminas de plástico de invernadero contienen ftalato DBP, del cual unas 200 pepitas (un billón de gramos) por litro puede matar a las plantas. Este tipo de plástico no debería entrar en contacto con los alimentos. Se utiliza como un film de envoltura debido a la resistencia a la tracción. En el envasado de alimentos, este material tiende a ser reemplazado.</p>	<p>Reciclar no es técnica ni económicamente factible. El reciclado térmico no se puede realizar debido a las sustancias particularmente peligrosas emitidas por el calentamiento de PVC. Se usa reciclaje de presión. Actualmente solo el 3% es reciclado, los productos antiguos de PVC requieren mezclarse con material virgen para producir material de calidad. La mayoría de los residuos recolectados se utilizan para productos de calidad inferior, como bancos de parques o barreras contra el ruido de la carretera.</p>



 LDPE	PLASTICO # 4 - Low-Density Polyethylene-LDPE Polyethylene – Aunque el LDPE normalmente no se recicla si que es reciclable en ciertas áreas. Es un plástico muy saludable que tiende a ser duradero y flexible. Los films estirables de envasado de alimentos, bolsas de sándwich y de alimentos congelados y botellas a presión están hechas de LDPE.	El LDPE reciclado se utiliza para fabricar contenedores de basura, madera, muebles, etc.
 PP	PLASTICO # 5 – POLYPROPYLENE - PP – Generalmente el PP no se recicla, pero se acepta en muchas áreas. Este tipo de plástico es fuerte y generalmente puede soportar temperaturas muy altas. Entre muchos otros productos se utilizan como films de envasado, envases de margarina, cajas de yogur, botellas de jarabe, etc. Las tapas de plástico a menudo están hechas de PP.	PP presenta dificultades para reciclar. Por lo tanto, es difícil obtener materiales de calidad. El PP reciclado se utiliza para fabricar raspadores de hielo, rastrillos, cables de batería, etc.
 PS	PLASTICO # 6 - POLYSTYRENE - PS POLYSTYRENE - Styrofoam. Por lo general se recicla, pero es difícil de hacerlo y a menudo llega a los vertederos. Se usan dos formas: Poliestireno rígido (para casetes de CD, cubiertos) y Poliestireno formado o Espuma de Poliestireno (utilizado en envases de alimentos, envases, aislamientos, cajas de huevos, vasos desechables, latas de plástico para alimentos, embalaje de espuma y envases de cacahuetes).	Se hunde en el agua, no cae cuando se expone a llamas y produce un humo negro y sucio y un olor a quemado cuando aumenta la temperatura de la llama. Aunque su reciclaje teórico es posible, todavía no es económico. El reciclado de PS se utiliza para hacer aislamientos, marcos de matrículas, etc.
 Other	OTROS - El código SPI 7 se usa para designar diferentes tipos de plástico que no están definidos por los otros seis códigos. El policarbonato (PC) y el ácido poliláctico (PLA) están incluidos en esta categoría. El policarbonato o PC se usa para biberones, botellas grandes de agua, discos compactos y contenedores de almacenamiento médico. Los materiales reciclados en esta categoría se utilizan, entre otros productos, para la fabricación de madera plástica. El ácido poliláctico es un poliéster alifático termoplástico producido a partir de recursos renovables, como el almidón de maíz (en los Estados Unidos) o la caña de azúcar en el resto del mundo.	Estos tipos de plásticos son muy difíciles de reciclar. PLA es biodegradable en presencia de oxígeno.

Algunas webs ofrecen información muy útil sobre la seguridad del uso de los plásticos. Una de ellas:⁶



1 PETE (Typical polyethylene terephthalate) Típicas botellas de agua, refrescos y zumos no destinados a la reutilización o el almacenamiento debido a la posibilidad de acumulación de bacterias. Si los reutiliza, asegúrese de haberlos limpiado adecuadamente.

Generalmente los plásticos considerados seguros para alimentos y bebidas son:

- # 2 HDPE (high density polyethylene) grado alimentario;
- # 4 LDPE (Low Density Polyethylene);
- # 5 PP (polypropylene).

Materiales considerados peligrosos y no seguros para alimentos y bebidas. Pueden contener o infiltrar ingredientes peligrosos:

- # 3 PVC (polyvinyl chloride) carcinogénico durante su fabricación e incineración;
- # 6 PS (polystyrene) posiblemente carcinogénico;
- # 7 Otros. Generalmente el policarbonato PC puede infiltrar Bisfenol A BPA, un compuesto orgánico sintético utilizado en los plásticos que tiene propiedades similares a las hormonas y no es adecuado para su uso en el envasado de alimentos. Está prohibido usar este plástico en botellas destinadas a niños. Para la determinación práctica del material cuando el símbolo no se conoce el símbolo, <http://www.northstarrecycling.com/sorting-plastic-for-industrial-recycling/> propone los dos test de la FIG. 2.

⁶ <http://modernsurvivalblog.com/preps/safe-plastics-for-food-and-drink/>

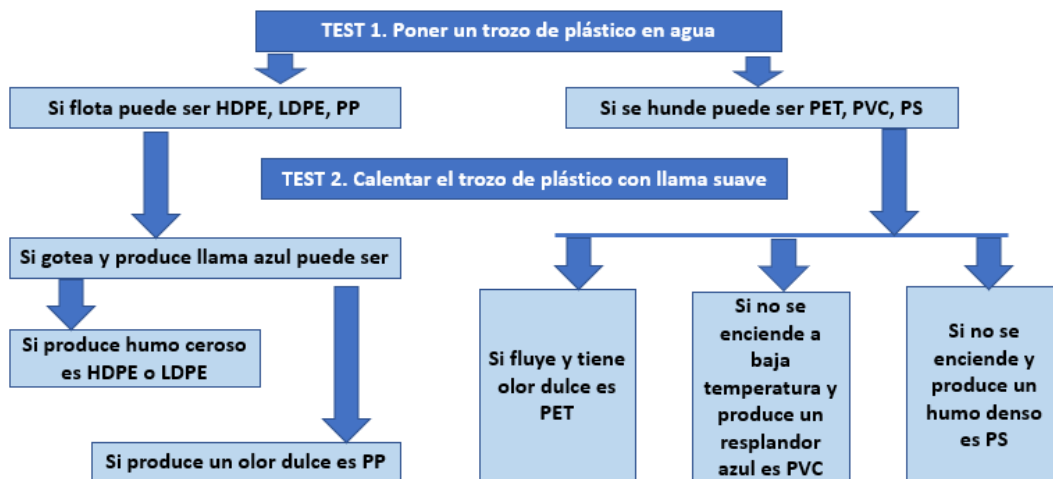


Fig. 2: Test propuesto para la determinación del tipo de material plástico en ausencia de símbolo.



8.3 Tecnologías del embalaje de plástico

Aquí se presentarán algunas de las tecnologías utilizadas en la fabricación de embalajes y envases para uso alimentario. En el anexo 1 se hace una presentación más completa.

Las tecnologías clave para obtener los plásticos a partir de los polímeros son:

- extrusión;
- inyección;
- compresión.

8.3.1 Extrusión

La materia prima plástica, también conocida como resina, es suministrada por el fabricante en forma de gránulos o en forma de polvo. Algunos plásticos se usan para hacer revestimientos, adhesivos o aditivos en otros procesos relacionados con el envasado, pero si lo que queremos es convertir las resinas plásticas en películas, láminas, recipientes, etc., el primer paso es transferir los gránulos de fase sólida a la fase líquida o fundida en una extrusora.

El plástico se derrite mediante la aplicación de una combinación de alta presión, fricción y calor externo. Esto se hace presionando los gránulos a lo largo del cilindro de una extrusora utilizando tornillos de polímeros especialmente diseñados bajo condiciones controladas que aseguran la producción de una masa fundida homogénea antes de la extrusión. El plástico fundido finalmente se presiona a través del molde del producto terminado.



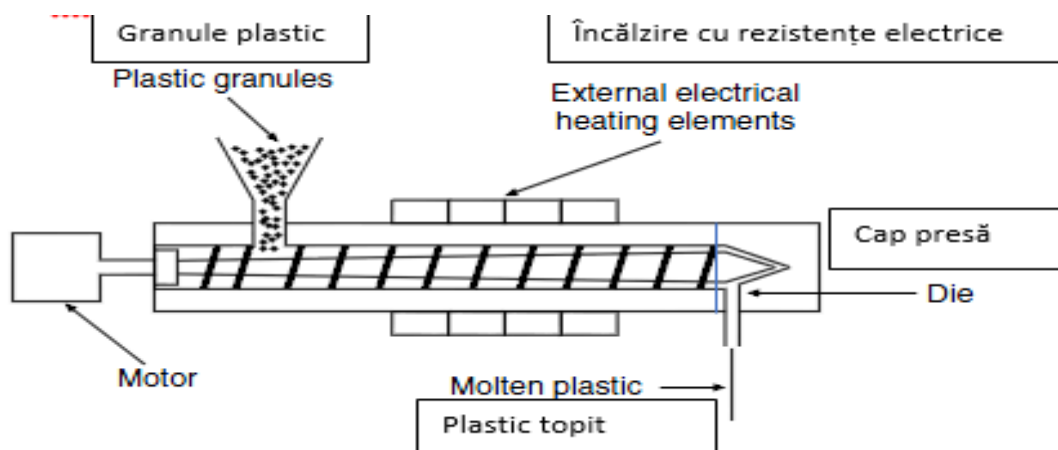


Fig 3: Extrusora

Uso: - obtención de hojas, películas, placas y tubos.

Por extrusión, es posible hacer películas y láminas en la misma instalación solo cambiando los diámetros. Estos pueden ser anulares, para hojas y films o planos, para hojas, films y placas.

- Extrusión de películas de plástico con boquilla plana para el embalaje (línea tecnológica en Anexo 1.1)

-Extrusión del film:

- se obtienen por extrusión con una cabeza de giro de boquilla ancha;
- el polímero se extruye a temperaturas tan altas como sea posible para minimizar la viscosidad de la masa fundida;
- el enfriamiento se lleva a cabo con aire, mediante inmersión directa en agua, en cilindros interiores refrigerados o combinaciones de estas variantes;
- espesor de la hoja - hasta 0.2 - 0.3 mm (límite inferior).

Los films resultantes pueden someterse a otra operación adicional: se llevan a la temperatura de transición al estado de vidrio del polímero estirando el polímero con un valor de 200-600% del tamaño original, mientras que al mismo tiempo se orientan las macromoléculas en la dirección del estiramiento aumentando la resistencia a la tracción; y disminuyendo el alargamiento a la rotura de la lámina al hacerla más fina. Se pueden aumentar los estiramientos longitudinales y transversales de dos ejes, aumentando la resistencia en ambas direcciones. El aumento de la resistencia es especialmente importante cuando se utilizan láminas para embalaje de alimentos.



La lámina etizada (también termo contraíble) se llama cuando se calienta, libera tensiones internas y se contrae sobre el objeto empaquetado en una película transparente, impermeable y elástica.

-Extrusión en placa (línea tecnológica en Anexo 1.2).

Se utiliza para fabricar planchas de distintos grosores utilizando polímeros diferentes, como PS, PP, PE, etc. Se utilizan placas delgadas de hasta 0,2 mm de espesor para obtener el envasado de alimentos mediante termoformado (vasos, recipientes, platos, bandejas de margarina, yogur, postres, etc.). La línea de procesamiento (ver Apéndice 1), similar a la de los films, también tiene un sistema de calandrado (rodillos de pulido para alisar baldosas plásticas), rodillos de transporte y guía, equipo de corte

Co-extrusión en placa (Anexo 1.3).

Utilizando un número adecuado de extrusiones para alimentar diferentes plásticos, por medio de un dispositivo de combinación o una unidad de alimentación hacia una boquilla común, se pueden formar estructuras multicapa de diferentes materiales con diferentes propiedades. Esto se llama coextrusión.

La coextrusión es la extrusión simultánea de múltiples capas de material (desde dos o más extrusoras) a través de la misma tira. A) Grosor mínimo 30 - 120 μm . B) La misma extrusora puede depositar una o dos capas de polímero. C) Cada extrusora debe garantizar un flujo laminar del polímero fundido para evitar mezclar las capas. Se pueden obtener películas o láminas de múltiples capas con 2-9 capas. Polímeros: PET, HDPE, LDPE, PS, etc.

-Recubrimiento por extrusión y laminación (línea tecnológica 1.4)

La extrusión y la laminación se utilizan para:

- proteger contra la humedad;
- barrera al vapor de agua, oxígeno, aromas, etc.;
- resistencia a la grasa;
- sellado en caliente;
- atracción para la venta, por ejemplo, fabricación de superficies brillantes.

También se usan otras tecnologías con el mismo fin: laminación arrollada en caliente (la laminación se logra pasando cartón y película a través de un conjunto de rodillos calentados recubiertos de teflón a la velocidad y temperatura correctas. Esto hace que la película se adhiera a la parte superior y / o parte inferior del cartón). Laminación adhesiva (paso continuo de dos películas, una de las cuales está recubierta con adhesivo de alta velocidad entre varios rollos. Los procesos se distinguen por el tipo de adhesivo utilizado y por la forma en que se aplica).



El uso de extrusión y cartón laminado ofrece notables beneficios promocionales en términos del atractivo visual para los consumidores. El recubrimiento por extrusión y laminación agrega una fina capa de plástico sobre el cartón que puede proporcionar resistencia a la grasa y a la humedad y, cuando corresponda, resistencia al calor.

Los revestimientos plásticos pueden sellarse en caliente. Dependiendo de la aplicación, el cartón podría estar cubierto por una o dos caras de extrusión. La capa de aluminio proporciona al embalaje una barrera contra la luz, la humedad, la grasa y el gas. El papel de aluminio a menudo está cubierto de plástico para garantizar la seguridad del producto y el sellado térmico. La cantidad de plástico fundido suministrado por la extrusión está influenciada principalmente por el flujo y la temperatura de la masa plástica fundida. Los polímeros más comúnmente utilizados son PE, PP, PET y película de poliéster metalizado.

El cartón envuelto en un rollo pasa frente a un dispositivo de pretratamiento de superficie de descarga corona de baja temperatura para asegurar las tintas de impresión, revestimientos y adhesivos, y luego se cubre con polímero fundido, PE, PP o PET, con una cantidad y temperatura controlada. Inmediatamente, la superficie recubierta se presiona sobre la superficie de un rodillo de acero enfriado. Un rollo de película o film se encuentra situado inmediatamente después de la extrusora de revestimiento de plástico. La película o film se alimenta desde el rollo hasta la ranura entre la película de plástico fundido y el rollo de enfriamiento para que el plástico realice la función de un adhesivo de película / film sobre el cartón, controlando así el acabado de la superficie de plástico. Las cubiertas inversas tienen un acabado NSO (non-Set-Off) y las capas de impresión suelen tener un acabado brillante.



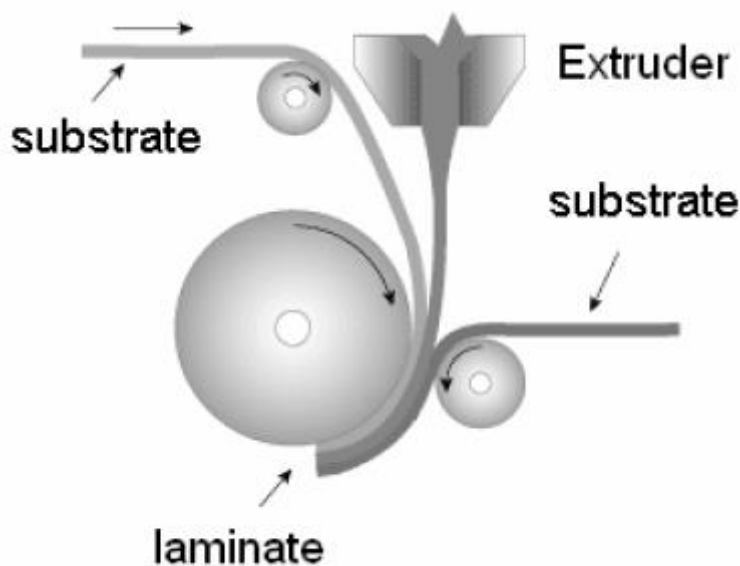


Fig.4 Recubrimiento por extrusión y laminación, de acuerdo con ⁸

Al final, el cartón recubierto se envuelve en los grandes núcleos de acero (tambores) en lotes de entre 1 y 3 toneladas, según el producto. Cada tambor tiene un código de identificación único.⁹ Véase el anexo 1.4.

➤ Extrusión de láminas y de películas sopladas (línea tecnológica anexo 1.5)

En general, las películas son, por definición, menores de 200 μm de grosor (1 micra = 1×10^{-6} m). La película se utiliza para envolver firmemente el embalaje (paquetes únicos, grupos de paquetes, cargas en paletas), para hacer sobres y bolsas y en combinación con otros plásticos u otros materiales mediante laminación, formando también el embalaje.

La extrusión de láminas y películas sopladas es un proceso simple, económico y productivo. Es el método más usado. A través de él se logran hojas y películas de alta calidad. En principio, el método consiste en la obtención de un tubo de paredes finas (de unas pocas micras a décimas de milímetro) que se dilata con la ayuda de una sobrepresión de aire. El diámetro de las hojas es desde algunos centímetros hasta más de 20 metros. Es aplicable a los polímeros HDPE, LDPE, PP, MDPE (polietileno de densidad media: 0.926 - 0.940 g / cm^3). Con la dilatación de la lámina también se obtiene su estiramiento cruzado y al tirar del rodillo se obtiene un estiramiento longitudinal. La coextrusión de películas sopladas de dos polímeros (anexo 1.6), por ejemplo polietileno - poliamida, polietileno – poliestireno, también es utilizada.



➤ Extrusión – soplado de cuerpos cueva (vacíos en su interior)

Es utilizado por el fabricante de cilindros (botellas, viales) y otros tipos de cuerpos cueva (vacíos en el interior).

Los polímeros utilizados: poliolefinas (PE, PP), PVC plastificado, PET, PS, ABS, Nylon (PA), etc.

Por extrusión, se forma un tubo en un molde correspondiente al cuerpo vacío que se quiere fabricar. Dentro del tubo se inyecta aire comprimido y el tubo de polímero en estado visco-plástico se dilata hasta las paredes del molde en contacto con las cuales se enfría.

Pasos:

- la extrusora se carga continuamente con un producto semiacabado en forma de tubo;
- el tubo se inserta entre las mandíbulas del molde que definen el contorno exterior del producto deseado;
- el molde se cierra, el extremo del tubo cortado se cierra al mismo tiempo. Ver anexo 1.6;
- el aire de insuflación generalmente se filtra con filtros esterilizados. Para eliminar la post-esterilización del empaquetado resultante, se utiliza a veces el proceso 'bottle-pack' donde con una temperatura del material de 150-230 ° C a la cual el cilindro del molde es prácticamente estéril, realizándose el embotellado de alimentos casi simultáneamente con la formación. Los líquidos son embotellados en frío debido a que el tiempo de enfriamiento es muy corto.

8.3.2 Termoformado

Los procedimientos de termoformado implican que las láminas de termoplástico se empapan hasta que estén calientes, seguido de la aplicación de vacío, presión o un émbolo de movimiento. La lámina se puede estirar sobre un molde y toma la forma de perforación (formación positiva) o puede tomar la forma de la cueva del molde es decir de su parte interior (formación negativa). Al contacto con el molde se pierde calor y el material se enfría y se vuelve rígido. Las formas de los productos termoformados suelen ser simples (cajas, bandejas de alimentos, diferentes contenedores). El termoformado compite con el moldeo por soplado y el moldeo por inyección. Las principales ventajas de este proceso son el coste relativamente bajo de termoformado, el menor coste de los moldes y la facilidad para formar áreas grandes con partes delgadas. Desventajas: las formas limitadas y el grosor desigual. La lámina interna se alimenta desde una bobina y se calienta antes de formarla o en el molde, después la lámina se forma en el molde siguiendo varios métodos.

⁸ Rory Wolf, A technology decision – Adhesive lamination or Extrusion Coating/Lamination



⁹ según IGGESUND PAPERBOARD, Reference Manual, Extrusion coating and lamination

¹⁰ RICHARD COLES, DEREK MCDOWELL, MARK J. KIRWAN FOOD PACKAGING TECHNOLOGY, Blackwell Publishing Ltd, 2003

La cavidad así formada se llena de alimento, en atmósfera abierta o a vacío respectivamente, después de lo cual la lámina superior se usa para cerrarla ya que está soldada a la lámina interior por calor y presión.

Se utilizan dispositivos de corte transversal para la separación de productos terminados. A continuación, se etiquetan los productos y se almacena.

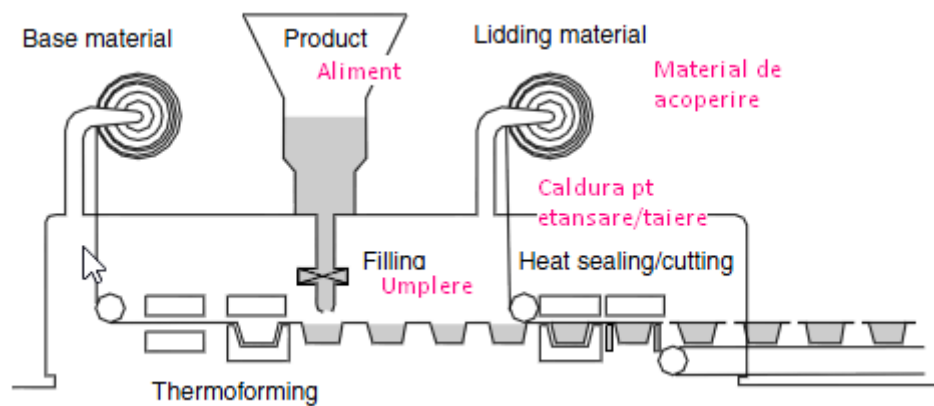


Fig. 4. Termoformado y llenado, Línea de cerrado ¹⁰

8.3.3 Moldeo por inyección.

El principio del método es la inyección del polímero fundido en un molde frío a alta presión.



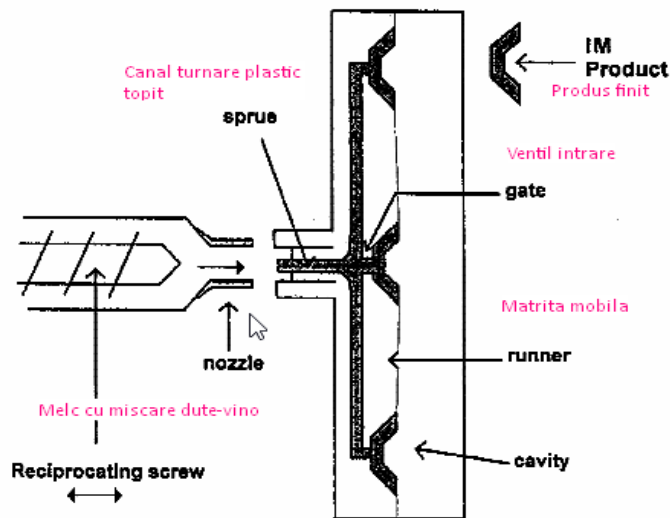


Fig. 5 Esquema del proceso de moldeo por inyección ¹¹. Ver también anexo 1.7.

¹¹ Vlachopoulos and Strutt Polymer processing, Materials Science and Technology September 2003

Los pasos del proceso de moldeo por inyección son:

- El cilindro suministra gránulos de plástico con los que el pistón se mueve con movimiento de vaivén;
- El material se calienta hasta el punto de fusión debido al calentamiento externo y la fricción interna del cilindro;
- El pistón retrocede y el plástico derretido pasa frente a él;
- El pistón se mueve hacia adelante e inyecta el material fundido en el molde frío;
- El material se enfría y se solidifica rápidamente por la alta presión creada por pistón y la válvula de entrada;
- El molde se abre y los productos son expulsados.

-Ventajas: Alta productividad debido a la gran cantidad de moldes y a la alta velocidad de conformado, buena precisión de los productos formados, pérdidas mínimas, objetos con formas complejas y varios tamaños. La línea de inyección puede ser completamente automatizada. Existe la posibilidad de obtener cuerpos vacíos en su interior (botellas de PET) mediante moldeo por inyección y soplado. La principal desventaja es el alto precio del molde.



8.3.4 Moldeo por compresión

El principio del método: el polímero fundido se prensa en el molde.

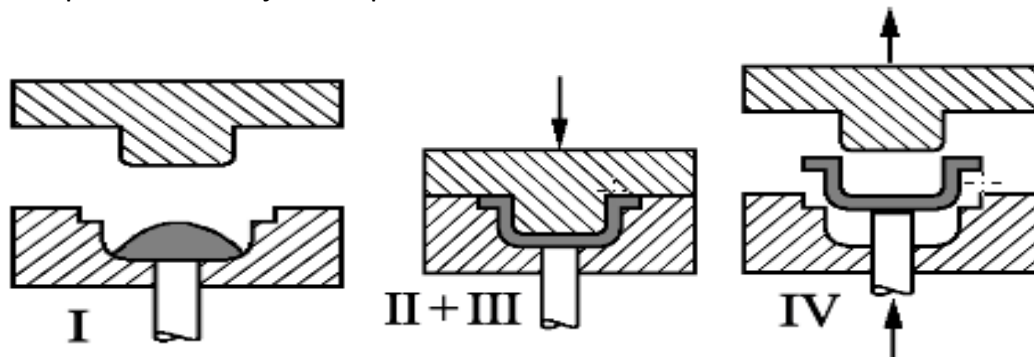
Las etapas de compresión:

I. Poner el polímero en el molde abierto (gránulos, píldoras, polvo, producto semielaborado preformado). El polímero puede precalentarse para acortar el ciclo de formación.

II. Cierre y calentamiento del polímero (uniforme en toda la masa) hasta la temperatura de fusión. Prensado con la parte superior de la prensa (hidráulica normalmente).

III. El enfriamiento uniforme del objeto formado por presión hasta la temperatura indicada para la expulsión.

IV. La pieza de trabajo se expulsa del molde.



Ventajas: posibilidad de obtener objetos de grandes dimensiones con baja pérdida de polímero, minimización de tensiones internas y deformación de piezas, precisión y excelente estabilidad dimensional, contracción baja y reproducible, buen acabado superficial de los objetos realizados, alta productividad de procesos modernos que combinan el moldeo por compresión con inyección o extrusión.

Desventajas: no está indicado para objetos frágiles o formas complejas, la profundidad de la cavidad está limitada a 2-3 veces su diámetro, la cantidad de material introducido en el molde debe ser estrictamente controlada¹².

8.4 Diseño de envases plásticos para su reciclaje.

Para tener una visión más amplia del tema en el anexo 2 se describen otros polímeros destinados al envasado de alimentos que no fueron incluidos en la sección 8.1. También se puede consultar la tabla A2.1 con las propiedades físicas de los principales polímeros utilizados en embalaje plástico, la tabla A2.3 con indicaciones de



uso de polímeros para envasado de alimentos, la tabla A2.2 con indicaciones de uso de polímeros para plásticos rígidos y la Fig A2.1 con un diagrama de araña sobre las propiedades de uso de polímeros para envasado de alimentos. En el anexo 3 se dan algunos extractos sobre el diseño de las piezas destinadas a ser moldeadas de plástico.

Un diseño adecuado en términos de estructura final del material de envasado y de las técnicas de producción implica que la combinación de: - selección de sustratos - elección de otras materias primas, - composición de los laminados, - impresión y otros procesos - elección de la técnica de producción, - aplicación de buenas prácticas de fabricación, tendrá como resultado un material de embalaje adecuado. La impresión puede realizarse en el envase primario que contiene una barrera funcional que reduce a niveles "aceptables" la migración de componentes de cualquier capa del lado no alimentario de la barrera hacia los alimentos (el límite de migración específica SML o el nivel de migración sin peligro) ¹³.

¹² <http://www.tsocm.pub.ro/educatie/cepa/Ambalaje%20-%20CEPA%20-%20Curs%206.pdf>

¹³ EUPIA, Information leaflet Printing Inks for Food Packaging

8.4.1 Algunos conceptos sobre ecodiseño

Algunos conceptos de ecodiseño:

- a) Utilizar plásticos compatibles. El Apéndice 2, figura A2.2 presenta indicaciones sobre la compatibilidad de los materiales de embalaje básicos con sus componentes.
- b) Usar materiales de diferentes densidades. Ver fig.1.
- c) Cubrir con etiquetas máx. 2/3 de la superficie de envase. En instalaciones automáticas de reciclaje, un sistema óptico de separación clasifica el embalaje plástico. Si se cubre el 67% o más del empaque, se clasificará sobre la base del material de la etiqueta. Si el diseño del paquete no le permite cumplir esta exigencia, entonces:
 - Use una etiqueta hecha del mismo material que el envase.
 - Use una etiqueta con una densidad diferente a la del embalaje.
- d) El color negro y los muy oscuros interfieren con la clasificación automática del embalaje y absorben la luz emitida desde el sistema óptico de separación. El embalaje sin color u opaco después del reciclaje tiene más aplicaciones que los de color. Algunos aditivos utilizados para el cierre del envase pueden entorpecer los cilindros o tiras de producción de PET reciclado.



- e) Los componentes de las tintas utilizados para el color del empaquetado o su impresión pueden contaminar el material reciclado. Por ese motivo deben utilizarse tintas de impresión que no estén incluidas en la lista de exclusión de EUPIA (European Printing Ink Association).
- f) Los adhesivos no solubles pueden contaminar materiales reciclados con contaminantes y no serán eliminados en el proceso de lavado del reciclado, por lo que es recomendable utilizar adhesivos solubles en agua caliente o los de alta temperatura solubles en álcalis.
- g) La silicona puede adherirse al material reciclado por lo que, de ser posible, se debería renunciar a su uso.

8.4.2 Permeabilidad de los plásticos

Es necesario tener algunas nociones sobre la permeabilidad de los plásticos cuando se trata de Ecodiseño. En condiciones de equilibrio, el coeficiente de permeabilidad del plástico no poroso está dado por la relación:

$P = D \times S$ (Crank, 1975)

P – coeficiente de permeabilidad del material;

D – coeficiente de difusión, que mide la rapidez con la que componentes indeseables pasan a través del polímero;

S – coeficiente de solubilidad del alimento que muestra la cantidad del componente indeseable que hay en el alimento envasado.

Después de algunas transformaciones y sin dar detalles de la demostración de la fórmula se llega a la siguiente expresión:

$$P = \frac{QL}{At(p_1 - p_2)} \quad (1)$$

En el sistema Internacional si $P =$

$$\frac{\text{cantidad de compuesto no deseado} \times \text{grosor del envase}}{\text{area} \times \text{tiempo de exposición} \times \text{diferencia de las presiones parciales del componente}} = \frac{\text{cm}^3 \times \text{cm}}{\text{cm}^2 \times \text{s} \times \text{Pa}}$$

En la cual:

Q – Cantidad de compuesto no deseado – cm^3 ;



L – Grosor de la pared de polímero de envasado - cm
 A – Superficie de polímero a través de la cual puede pasar el componente no deseado– cm²;
 t – Tiempo de exposición – segundos;
 $p_1 - p_2$ – La diferencia de las presiones parciales del componente no deseado en el exterior del envase y del mismo compuesto dentro del envase. De acuerdo con la ley de Dalton: la presión de un gas es igual a la suma de las presiones de sus componentes gaseosos. ¹⁴

En el caso del aire, la composición de este expresado en porcentaje en volumen es la siguiente:

Oxígeno (O₂): 20,93 %

Nitrógeno (N₂): 78,10 %

Argón (Ar): 0,9325 %

Dióxido de Carbono (CO₂): 0,01 %

Hidrogeno (H₂): 0,0018 %

Neón (Ne): 0,0005 %

Kriptón (Kr): 0,0001 %

Xenón (Xe): 0,00000 %

Despreciando todos los componentes excepto el O₂ y el N₂, la ley de Dalton para el aire se puede escribir de la siguiente forma:

$$p_{air} = p_{O_2} + p_{N_2} \quad (2)$$

¹⁴ Food Processing: Principles and Applications, Second Edition. Edited by Stephanie Clark, Stephanie Jung, and Buddhi Lamsal, © 2014, cap 11. Joongmin Shin and Susan E.M. Selke, Food Packaging

Las presiones parciales de cada componente gaseoso del aire se pueden calcular con las relaciones:

$$r_{O_2} \times p_{air} = p_{O_2} \quad (3)$$



$$r_{N_2} \times p_{air} = p_{N_2}$$

Para el aire a presión atmosférica ($p_{air}=1$ bar en escala absoluta), las presiones parciales de los dos gases son:

$$p_{O_2} = 0,21 \times 1 = 0,21 \text{ bar} = 21000 \text{ Pa} \quad (4)$$

$$p_{N_2} = 0,79 \times 1 = 0,79 \text{ bar} = 79000 \text{ Pa} \quad (5)$$

$$p_{aer}=p_{O_2} + p_{N_2}=0,21+0,79 = 1 \text{ bar} = 100000 \text{ Pa}^{15}$$

Ejemplo: Un alimento envasado en un tarro de PET con un grosor de 0.1 cm y una superficie de 400 cm² se pone rancio si absorbe 3 cm³ de O₂. El coeficiente de permeabilidad (P) del oxígeno O₂ es $1,2 \times 10^{-15} \text{ cm}^3 \times \text{cm}/\text{cm}^2 \times \text{s} \times \text{Pa}$. La presión parcial de O₂ dentro de la jarra es cero. ¿Cuál es la vida de ese producto, es decir, cuanto tiempo dura?

De (1) obtenemos: $t=Q \times L / AP(p_{ext}-p_{int})$ donde:

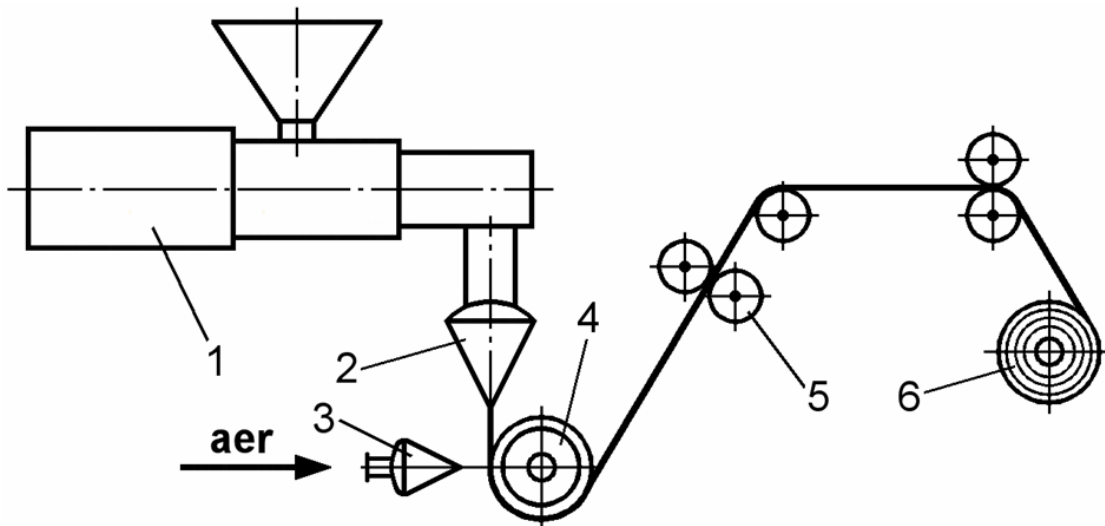
$$t=3 \times 0,1 / 400 \times 1,2 \times 10^{-15} \times (21000-0) = 29761904 \text{ segundos} / 24 \times 3600 = 344 \text{ días}$$

En el anexo A2.4 hay datos de los coeficientes de permeabilidad de los principales polímeros. Atención, en el anexo 2 la presión P está expresada en cm³cm/cm²xsxcmHg, donde $1 \text{ cmHg}=1332,22 \text{ Pa}$, por lo que por ejemplo para la presión parcial de oxígeno $p_{O_2} = 21000 \text{ Pa} = 21000/1332,22 = 15,76 \text{ cmHg}$

¹⁵ https://ro.wikipedia.org/wiki/Legea_lui_Dalton



1.1 La extrusión de láminas a través de relleno plano



Anexo 1. 1 Esquema de ranura ancha para láminas de plástico.

<http://www.tsocm.pub.ro/educatie/cepa/Ambalaje%20-%20CEPA%20-%20Curs%206.pdf>

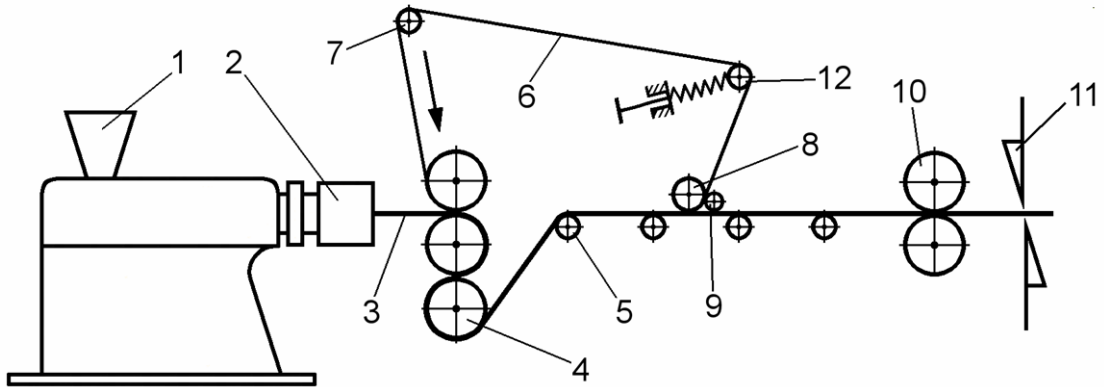
1. Extrusor, 2. Cabezal giratorio con boquilla ancha, 3. Sistema de enfriamiento de aire, 4. Tambor de enfriamiento, 5. Rodillos de suavizado, 6. Tambor de embalaje.

La masa fundida del polímero que se extruye como una membrana, desde el cabezal de extrusión a través del cabezal giratorio con boquilla ancha, es dimensionalmente estable y entra en contacto con varios rodillos alisadores antes de estirarse y enrollarse en el tambor. La superficie cromada del primer tambor está muy pulida, por lo que la hoja obtenida es muy brillante y de gran claridad. En la extrusión con ranura ancha (en particular a altas velocidades de trabajo), hay una orientación relativamente alta de la película en la dirección de la máquina (es decir, en la dirección de la corriente extruida) y una muy baja en la dirección transversal.

La película orientada biaxialmente se puede producir a través de una extrusión con ranura ancha, usando un dispositivo de estiramiento. Por ejemplo, el poliestireno se extruye primero a través de una cabeza de boquilla ancha que gira a aproximadamente 190 ° C y se enfría hasta unos 120 ° C al pasar entre rodillos. La hoja en movimiento se recalienta a 130 ° C, se mueve en direcciones longitudinal y transversal con algunas varillas que ejercen tensión. La velocidad de estiramiento es de 3: 1 a 4: 1 en ambas direcciones.



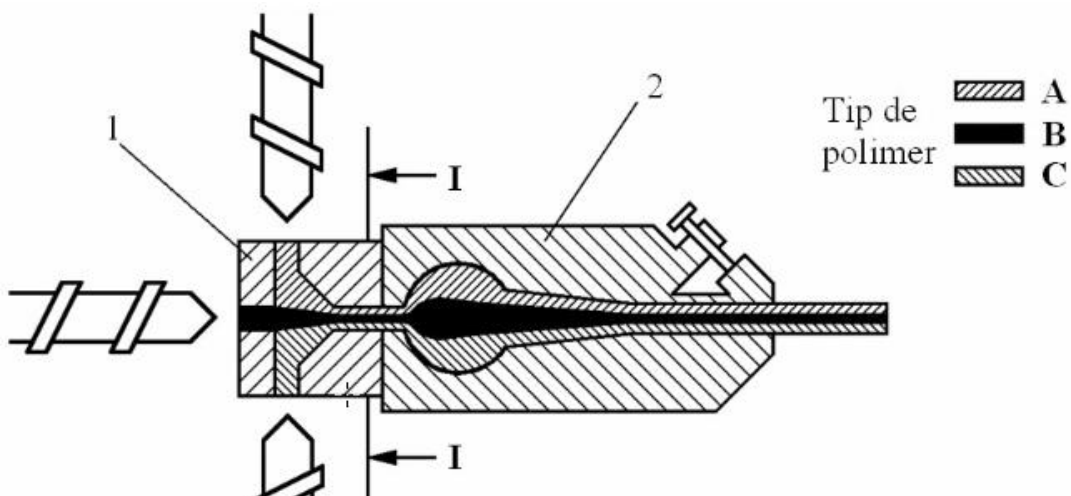
1.2 Extrusión en placa



Anexo 1.2 Esquema del sistema de extrusión en placas de pared delgada.

1. Extrusor, 2. Cabeza de giro de la boquilla ancha, 3. Placa extruida, 4. Sistema de rodillos, 5. Transportador con rodillos, 6. Tira continua de fibra de vidrio tejida, 7,8,9,12 rollos principales, 10. Tambores de tiro de goma, 11. Sistema de corte

1.3 Co-extrusión en placas delgadas



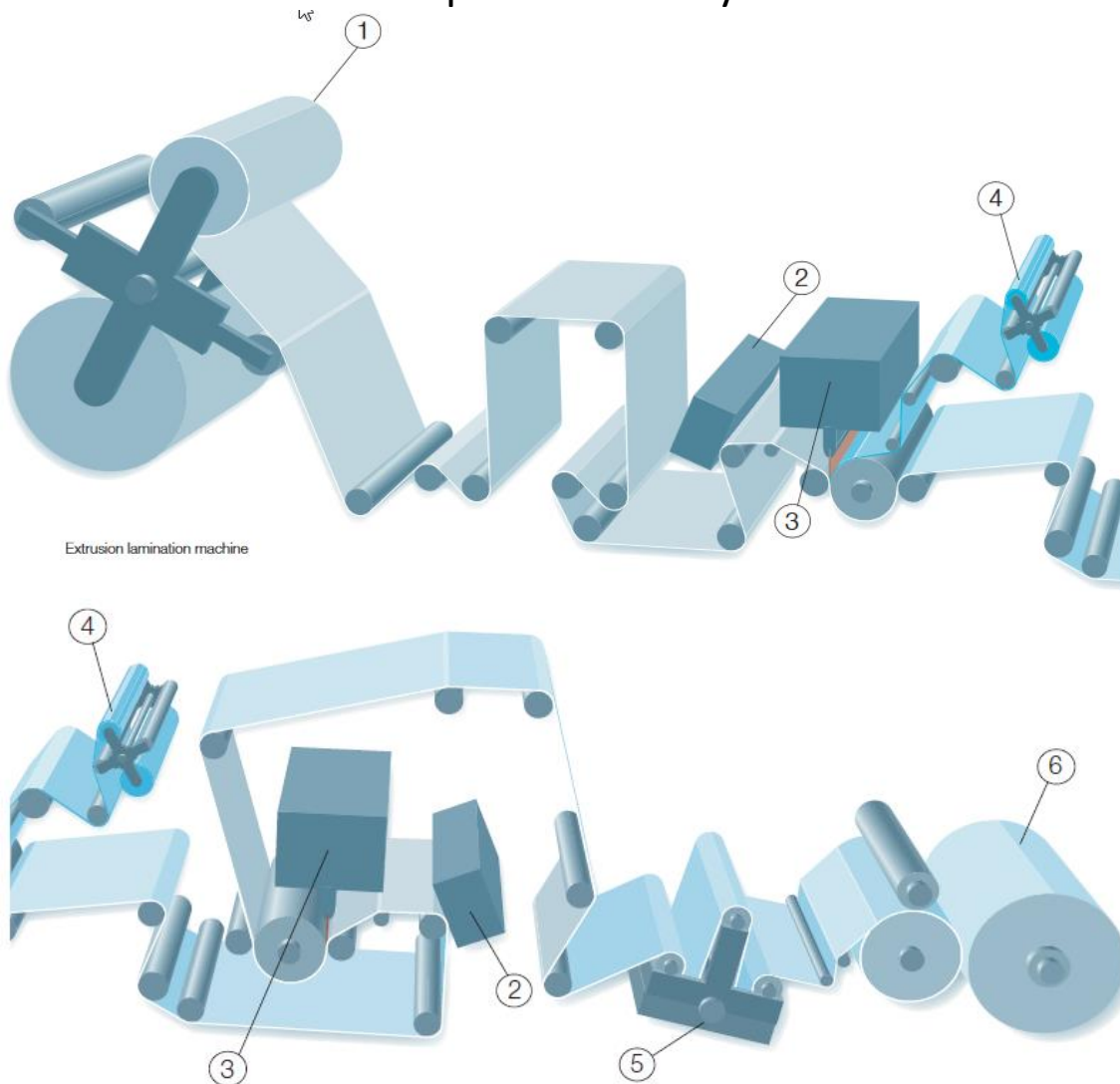
Anexo 1.3 Co – extrusión de 3 polímeros

1. Suministro, 2. Cabezal de extrusión.



Se obtiene una placa delgada de 30 a 120 μm , de tres polímeros. El primero se utiliza como capa de contacto con el alimento, el segundo se utiliza como capa de compatibilidad, el tercero se utiliza como capa de barrera.

1.4 Recubrimiento por extrusión y laminación.



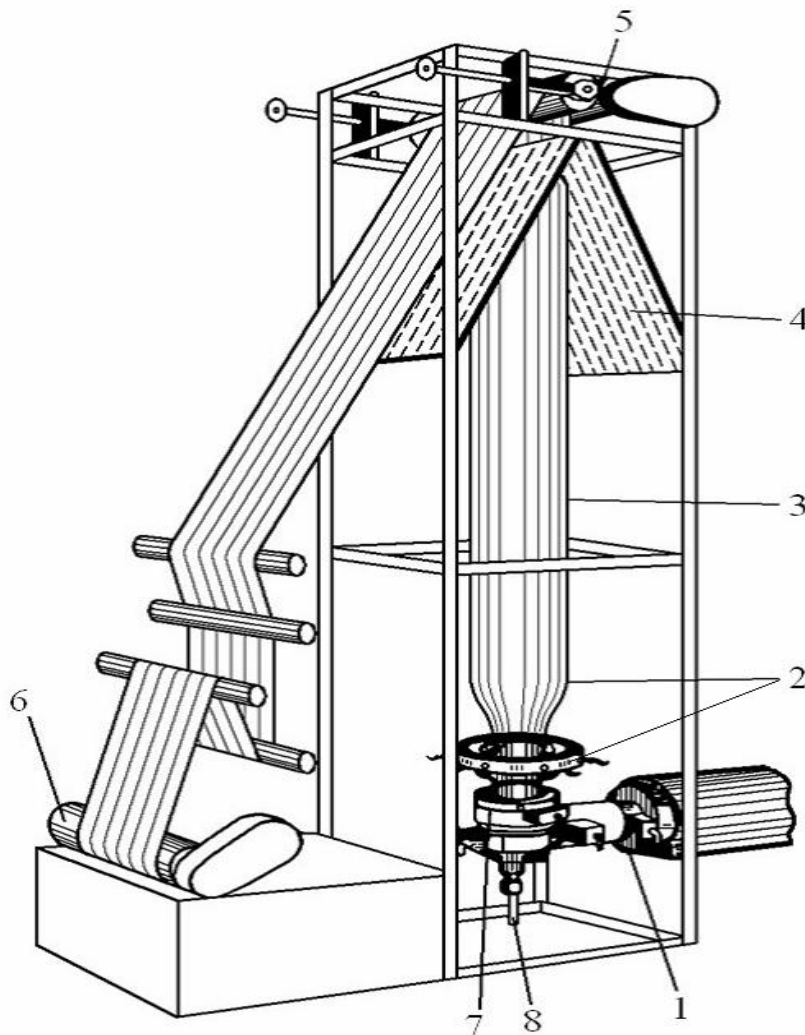
Anexo 1.4 Recubrimiento por extrusión y laminación.

1. Cartón, 2. Pretratamiento de descarga eléctrica de corona en el lado de impresión, 3. Recubrimiento con plástico fundido desde el extrusor, 4. Rollo con película laminada o lámina, 5. Tratamiento de descarga eléctrica de corona para mejorar las características del sello, 6. Tambor de bobinado final

Según IGGESUND PAPERBOARD, Reference Manual, Extrusion coating and lamination



1.5 Extrusión de láminas y de películas sopladas.



Anexo 1.5 Línea para la extrusión de láminas y de películas sopladas con el tubo soplador en vertical, según <http://www.tsocm.pub.ro/educatie/cepa/Ambalaje%20-%20CEPA%20-%20Curs%206.pdf>.

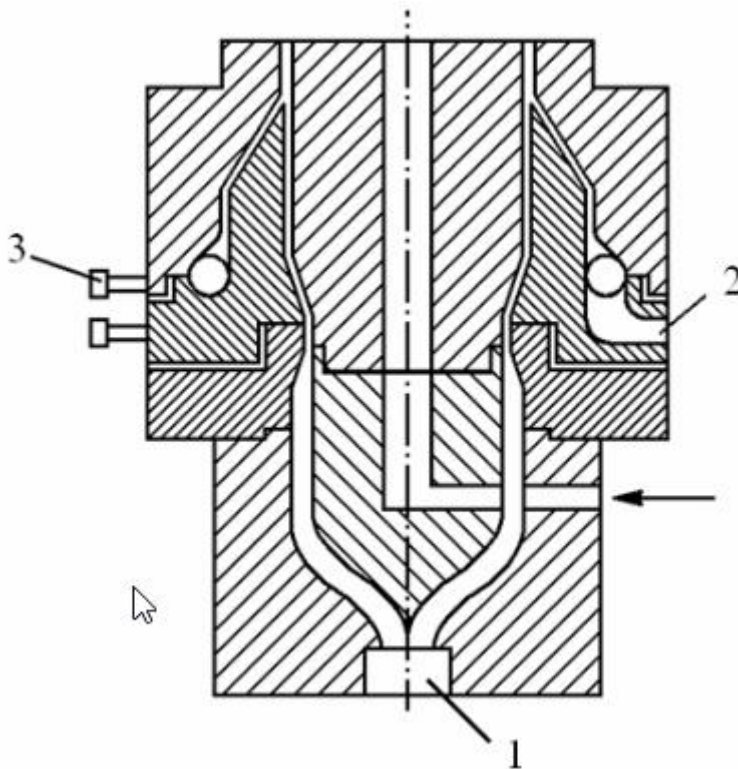
1. Extrusor, 2. Zona de enfriamiento, 3. Película fundida, 4. Paneles de guía, 5. Cilindros de cierre de la película, 6. Dispositivo de enrollamiento 7. Anillo de enfriamiento, 8. Entrada de aire para la dilatación de la película.



Características:

- la presión del gas provoca al aumento del diámetro y el trazado transversal;
- la productividad de la planta está limitada por las posibilidades de enfriamiento del tubo soplador;
- la relación de soplado, la relación del diámetro del tubo de soplado y la ranura de extrusión = 2: 1 - 3: 1 (normalmente);
- el estiramiento longitudinal es proporcionado por los rodillos de tiro y aplanamiento hechos de acero y cubiertos con goma esponjosa;
- para obtener propiedades uniformes en ambos ejes, es necesario que el estiramiento longitudinal = estiramiento cruzado.

1.6 Co-extrusión de películas sopladas de dos polímeros

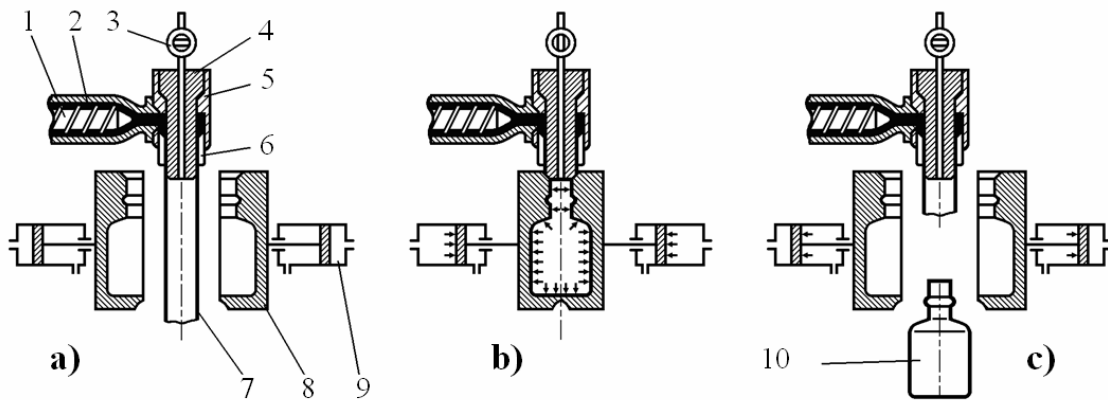


Anexo 1.6 Cabezal de extrusión para obtener una hoja bicapa por soplado.

<http://www.tsocm.pub.ro/educatie/cepa/Ambalaje%20-%20CEPA%20-%20Curs%206.pdf>.

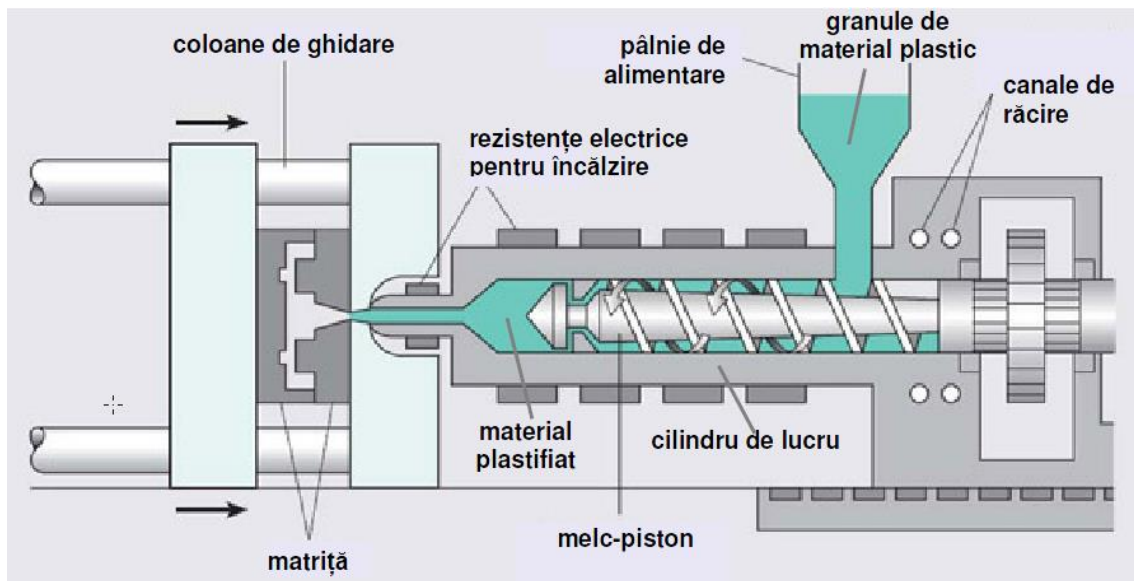
1. Introducción del polímero de la capa interna, 2. Introducción del polímero de la capa externa, 3. Ajuste





Anexo 1.7 Proceso tecnológico para obtener cuerpos hueca por extrusión – soplado. Según <http://www.tsocm.pub.ro/educatie/cepa/Ambalaje%20-%20CEPA%20-%20Curs%206.pdf>.

1. Extrusor, 2. Polímero derretido, 3. Válvula electromagnética para admisión de aire comprimido, 4. Mandril, 5. Cabeza de extrusión, 6. Rama, 7. Tubo de plástico semiacabado, 8. Semi molde, 9. Cilindros de accionamiento de semi molde, 10. Producto terminado.



Anexo. 1.8 La formación por inyección, según <http://magnum.engineering.upm.ro/~gabriela.strnad/Tehnologia%20materialelor%20I%20-%20curs%20licenta%20an%20II/2%20CURS/capitolul%207.pdf>



A2. Otros plásticos utilizados en envasado alimentario (ver también punto 8.1)

– Ionomeros – El ionómero más conocido es Surlyn (Du Pont), está relacionado con el PE, es transparente, más duro y más resistente que el PE y muy resistente a aceites y grasas, y tiene excelentes propiedades de sellado. Se utiliza para el envasado de carne y queso.

– Ethylene vinyl acetate (EVA) – Es similar a PE y se usa en mezcla con PE. En general, cuando aumenta el porcentaje de VA, la temperatura de sellado disminuye y la resistencia aumenta, la flexibilidad a bajas temperaturas aumenta, la resistencia a la fatiga y la flexibilidad aumentan. También es un componente importante en el adhesivo resistente a la alta temperatura utilizada en la técnica de embalaje.

– Polyamides (PA, nylon) – PA se puede mezclar con PE, PET, EVA y EVOH. Se puede moldear soplando para hacer botellas y frascos transparentes como el vidrio, tienen poco peso y tienen buena resistencia al impacto. La película de PA con orientación biaxial tiene una alta resistencia al calor y una excelente resistencia a la rotura y perforación. Tiene una buena claridad y se deforma fácilmente con el calor. Proporciona una buena barrera para sabores y olores, y es resistente a aceites y grasas. Tiene una alta permeabilidad al vapor y es difícil sellar con calor. Estas características se pueden mejorar con recubrimiento PVdC. Además, mediante laminación o coextrusión de polietileno, esta estructura se utiliza como la placa inferior termoformable, para el envasado de tocino y queso en envases de vacío o de gas (envasado MAP / atmósfera modificada). La película puede ser metalizada.

– Polyvinylidene chloride (PVdC). PVdC sella al calor y es una excelente barrera para el agua y los vapores de gas y para productos grasos y aceitosos. Como resultado de la alta barrera al gas y al olor, se usa para proteger los alimentos sensibles al sabor y al olor frente a la pérdida de sabor y a la penetración de contaminantes volátiles. Se utiliza en envases flexibles como monómero, por coextrusión o como material de recubrimiento, que se puede aplicar utilizando disoluciones en disolventes orgánicos o dispersiones acuosas en películas plásticas como BOPP y PET y papel y cartón. PVdC es un componente ampliamente utilizado en el envasado de carne y queso, bocadillos, té, café y productos de confitería. Se utiliza en llenadoras en caliente, esterilizadores, almacenamiento a bajas temperaturas y MAP, así como para el llenado a temperatura ambiente y para su distribución en una amplia gama de formas de envases.

– Styrene butadiene (SB) – El copolímero SB también es un polímero de embalaje, es resistente y transparente, con un acabado muy brillante. La película soplada tiene una alta permeabilidad al agua y a los vapores de gases. Se utiliza para el envasado de productos frescos.

– Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) – Es un copolímero con diferentes propiedades según la proporción de los tres polímeros que lo componen. Es un material duradero con buena resistencia al impacto y al estiramiento, y es flexible. Es translúcido u opaco y se usa en la fabricación de contenedores grandes.



ANEXO 2 PLÁSTICOS, TIPOS, PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS PARA EL DISEÑO DE ENVASES ALIMENTARIOS

-Ethylene vinyl alcohol (EVOH) – Es una excelente barrera para el O₂ y es resistente a la absorción y penetración de muchos productos como aceites, grasas, sabores y olores. Es sensible a la humedad y, por lo tanto, se usa por coextrusión en estructuras con varias capas, como películas para envases flexibles, láminas para termoconformado e inyección de botellas para que no entre en contacto con el líquido.

Las estructuras PS / EVOH / PS y PS / EVOH / PE se utilizan para MAP (Envasado en atmósfera modificada) de carne fresca y pasta, ensaladas, café, compota, etc. PP / EVOH / PP es una alta barrera utilizada para la pasteurización de productos como frutas, paté, alimentos para bebés y alimentos semiprocesados que se pueden calentar en el horno microondas. Además, puede ser laminado por extrusión con muchos otros polímeros para diversos fines.

– Polymethyl pentene (PMP o TPX) – Es transparente, resistente a temperaturas de hasta 200 ° C, tiene buena resistencia a los productos químicos, transparencia y brillo. Su principal uso en envasado de alimentos es el recubrimiento sobre el cartón por extrusión para su uso en aplicaciones de cocción en forma de cajas de cartón y bandejas para pan, pasteles y otros alimentos cocinados en el paquete. La comida envasada se puede calentar en el horno de microondas y en otros hornos.

– High nitrile polymers (HNP) – Se utiliza en la fabricación de otros plásticos, como ABS y SAN, que les otorgan propiedades de barrera a los gases y sabores y una buena resistencia química. HNP es adecuado para el envasado de alimentos y está fabricado con la marca BAREX (soplado y colado como una película por extrusión o inyección). Es transparente, resistente y rígido. Se utiliza por coextrusión con HDPE para la fabricación de botellas y con PE, PP y papel de aluminio para aplicaciones en envases flexibles. Las placas pueden ser termoformadas.

– Fluoropolymers (PCTFE/PTFE) – De todos los polímeros, el PCTFE tiene las propiedades de barrera más altas respecto a los vapores de agua y es resistente a muchos productos químicos a bajas temperaturas. Puede reemplazar el papel de aluminio y está disponible como película o placas. Es transparente, puede sellarse al calor, puede laminarse, termoformarse, metalizarse y esterilizarse. Es relativamente caro y, aunque es posible, no se aplica al envasado de alimentos. PTFE (teflón) tiene una alta temperatura de fusión y es un polímero inerte y ceroso. Se utiliza en la construcción de máquinas de envasado.

– Materiales basados en celulosa – La película de celulosa regenerada (RCF) está hecha de celulosa extraída de madera disuelta y regenerada por extrusión a través de una ranura, fundida en un tambor y tratada con ácido, después de lo cual se enrolla en un tambor en forma de película. RCF, llamado celofán es un material muy conocido. No es un material termoplástico, es un polímero de alto peso molecular, obtenido naturalmente. Para hacerlo flexible, está plastificado con humectantes de tipo glicol. El grado de flexibilidad puede cambiarse de rígido a muy flexible, puede doblarse o utilizarse con torsión. Es una barrera débil para los vapores de agua y esta propiedad se usa con productos que tienen que perder humedad, como productos de panadería y otros dulces de harina para lograr la textura correcta cuando se envasan (las películas plásticas, por ejemplo, PP o PE mantendrían la humedad relativa muy alta dentro del



ANEXO 2 PLASTICOS, TIPOS, PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS PARA EL DISEÑO DE ENVASES ALIMENTARIOS

paquete y, por lo tanto, favorecerán el crecimiento de mohos). Cuando está seco, RCF es una buena barrera para el oxígeno. Mediante recubrimiento con nitrocelulosa o PVdC se puede conseguir la soldadura / sellado al calor y la mejora de la barrera al agua y a los vapores de gas. Puede ser de color (rojo para regalos de Navidad) y metalizado y es imprimible. El acetato de celulosa también se deriva de la celulosa. Es muy transparente y brillante. Se puede imprimir. Fue utilizado por la laminación en el cartón y las ventanas para el diseño de cartulinas. Es más caro en comparación con BOPP que tiene propiedades similares, también ha sido reemplazado por otros polímeros como PVC, PET, PP, PVA.

– Polyvinyl acetate (PVA) – Es un polímero que forma un material amorfo con buenas propiedades adhesivas en términos de accesibilidad y potencia de la soldadura seca. El uso principal de PVA en el envasado de alimentos es como un adhesivo disperso en agua. Los adhesivos PVA se utilizan para sellar las costuras laterales de las cajas de cartón plegables y el embalaje de cartón corrugado y para la laminación en la lámina de aluminio.¹⁶

Tabla A2. 1 Propiedades de los principales polímeros utilizados en envasado plástico.

Name	Density g/cm ³	Tm Melting °C	Tg glass °C	Tensile strength MPa	Elastic limit %
PET	1.37-1.455	260	75	55-75	50-150
LDPE	0.910 -0.940	98-115	-	8.0 -31	
PVC	1.30-1.58	100-260	57-82	50-80	20-40
HDPE	0.952-0.965	130-137	-	18.5-24.8	55
PP	0.855-0.946	160	-	31-41	15
PS	1.04-1.05	240	95	45-60	3-4
ABS	1.04-1.05	-	105-115	29.6	20
SAN	1.06-1.1	-	102-104	32-40	4
PC	1.2-1.22	267	150	55-75	80-150
PA Nylon 6	1.15	254	-	59-90	50



ANEXO 2 PLÁSTICOS, TIPOS, PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS PARA EL DISEÑO DE ENVASES ALIMENTARIOS

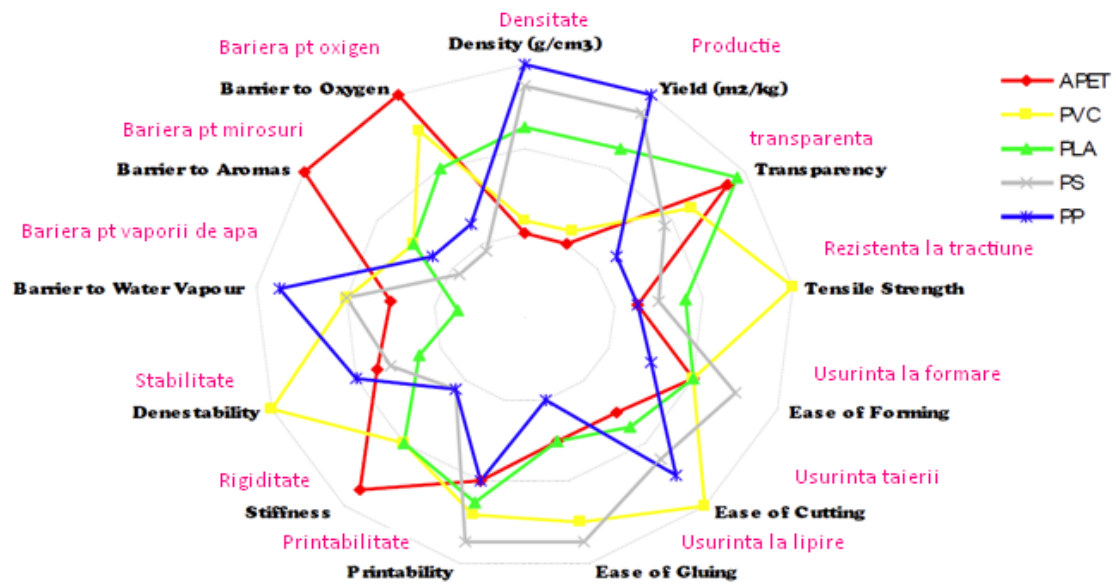


Fig. A2.1 Diagrama araña sobre las propiedades de los polímeros, según Design for plastic packaging recyclability, Mepex Consult AS 2017



Tabla A2.2 Tabla para el uso de plásticos en envases rígidos de alimentos según ¹⁷

Plastic	LDPE	HDPE	PP	PVC	PET	PS
Food approval	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Approximate hot fill temperature	80	95	120	50 to 65 Depending on type	60 standard, 85 partial heat-set, 95+ full heat-set	60 to 95 depending on type
Oxygen barrier	Very poor	Poor	Poor	Moderate to good	Good	Poor
Moisture barrier	Good	Excellent	Excellent	Moderate	Moderate	Poor
Impact strength	Excellent	Good	Poor to good depending on grade	Poor to good depending on grade	Excellent	Poor to moderate depending on grade
Clarity	Moderate	Poor	Poor to good depending on grade	Good	Excellent	Poor to excellent depending on grade
Main applications	Soft caps	Bottles, caps and closures	Pots and tubs, screw caps, hinged caps, some bottles	Bottles/sticle	Carbonated beverage and other bottles	Yoghurt and cheese pots
Moulding processes	Injection moulding, extrusion, blow moulding	Injection moulding, extrusion, blow moulding	Injection moulding, extrusion, blow moulding, termoforming	Extrusion, blow moulding, thermoforming	Stretch-blow moulding, thermoforming	Injection moulding, thermoforming

¹⁷ F. Hannay, Nampak Group Research & Development, Rigid Plastics Packaging - Materials, Processes and Applications, Rapra Technology Limited, UK



Tabla A2.3 Propiedades de la utilización de materiales plásticos como envases alimentarios¹⁸

Material	Product characteristics		Marketing issues		Environmental issues		Cost
	Advantages	Disadvantages	Advantages	Disadvantages	Advantages	Disadvantages	
Polyolefins PP,PE	Good moisture barrier; Strong; Resistance to chemicals	Poor gas barrier	Lightweight	Slight haze or translucency	Recyclable; High-energy source for incineration	Easily recycled in semirigid form; more difficult identification and separation for films	Low cost
Polyester	Strong; Resistance to hot filling; Good barrier properties		High clarity; Shatter resistance		Recyclable (a),(b)	Easily recycled in rigid form, but more difficult identification and separation for films	Cheap, but with higher cost among plastics
Polyvinyl chloride PVC	Moldable; Resistance to chemicals		High clarity		Recyclable (a)	It contains chlorine; It requires the separation from other waste	Cheap
Polyvinylidene chloride PVDC	High barrier to moisture and gases; Heat sealable; Withstands to hot filling;		It maintains product quality		Recyclable (a)	It contains chlorine; It requires separating from other waste	Cheap, but higher cost among plastics
Polystyrene PS	Available as rigid, film and foamed form	Poor barrier properties	Good clarity		Recyclable (a)	It requires separation from other waste	Cheap
Polyamide PA	Strong; Good barrier properties				Recyclable (a)	It requires separation from other waste	Cheap, but higher cost among plastics



Ethylene vinyl alcohol EVOH	High barrier properties to oils and fat	Low barrier properties to moisture; sensitive to moisture	It maintains product quality to oxygen-sensitive products		Recyclable (a)	It requires separation from other waste	Cheap when it is used as film
Polylactic acid PLA	Biodegradable; Hydrolyzable				Recyclable (a),(c)	It requires separation from other waste	Relatively expensive
a) Tecnicamente todos los termoplásticos son reciclables y se reciclan para proteger el medioambiente y contribuyen a disminuir los precios.							
b) Se reciclan mayoritariamente para la producción de productos no alimentarios.							
c) Las macromoléculas (polímeros) se pueden descomponer en nivel de monómeros y ser reprocesados.							

Tabel A2.2 Compatible materials

¹⁸ Según: KENNETH MARSH & BETTY BUGUSU, Food packaging and its environmental impact, www.ift.org



Tabel A2.4 Permeabilidad de distintos polímeros según http://www.faybutler.com/pdf_files/HowHoseMaterialsAffectGas3.pdf

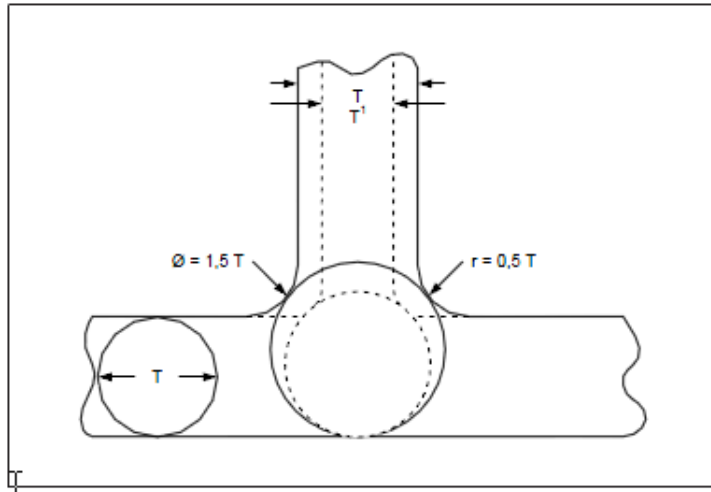
		COMPONENTS							
		HDPE	LDPE	PP	PVC	PS	PET	Paper	Steel Aluminum
BODY	HDPE	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red
	LDPE	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red
	PP	Green	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Green
	PVC	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green
	PS	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green
	PET	Green	Green	Green	Red	Red	Green	Red	Red
	Paper	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red
	Aluminum	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green

Polymer	Common/Trade Name	Permeability Coefficients at 25°C ($P \times 10^{10}$)	
		Oxygen	Moisture
Poly(isoprene)	Natural Rubber	23.3	2290
Poly(chloroprene)	Neoprene G	4.0	910
Poly(isobutene-coisoprene)	Butyl Rubber	1.3	110
Poly(vinyl chloride)	PVC (unplasticized)	0.045	275
Poly(tetrafluoroethylene)	Teflon	4.2	4.8
Poly(tetrafluoroethylene-co)	Teflon FEP	4.9	17
Poly(ethylene), low density (0.914 g/cm ³)	LDPE	2.2	68
Poly(ethylene), high density (0.964 g/cm ³)	HDPE	0.3	9
Poly(propylene) density (0.907 g/cm ³)	PP	1.2	35
Poly(vinylidene chloride)	Saran	0.005	0.5
Poly(trifluoro chloroethylene)	Kel-F81	0.04	0.1
Poly(ethyl methacrylate)	Plexiglas	1.2	3200
Poly(carbonate)	Lexan	1.4	1400
Poly(ethylene terephthalate)	PET	0.035	130

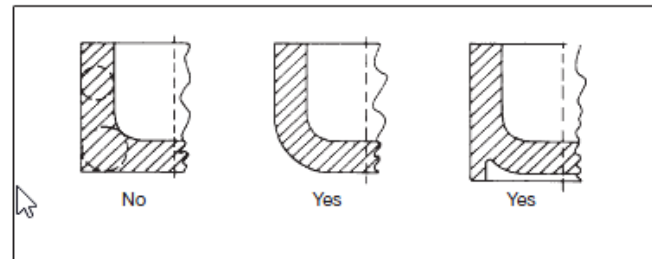
Permeability Coefficient P = (amount of permeate) (film thickness)/(surface area) (time) (pressure-drop across film).
Units of P : [cm³ cm]/[cm² s (cm Hg)].



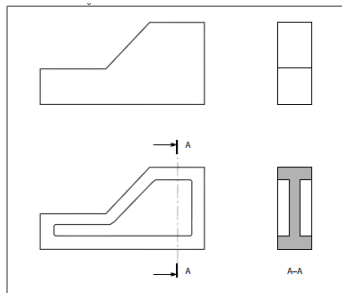
ANEXO 3: ALGUNAS DIRECTRICES PARA EL DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS MOLDEADAS
(DESIGN GUIDE - MÓDULO 1 DUPONT)



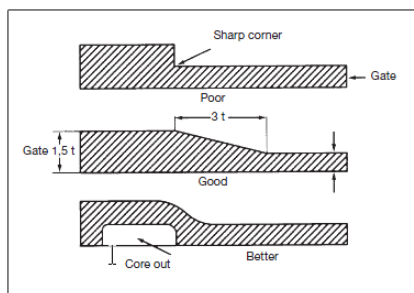
A3.1 Rib dimensions



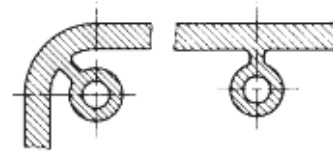
A3.2 Outside corner design



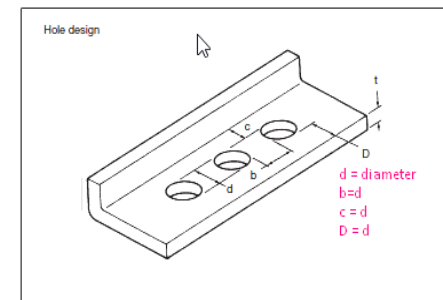
A3.3 Uniform design for wall



A3.4 Transition to different thickness



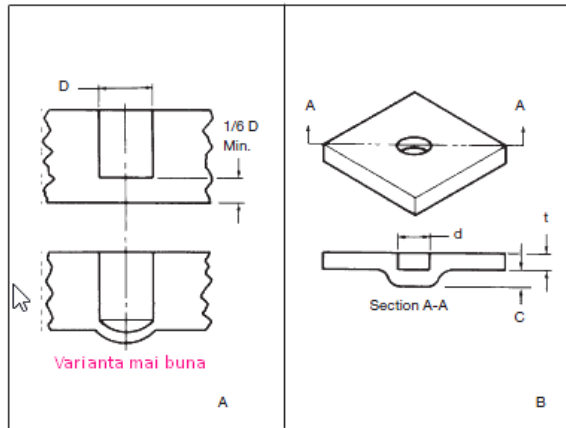
A3.5 Good design for bosses



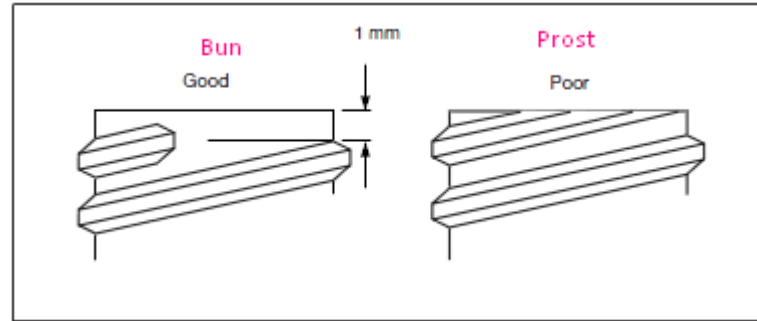
A3.6 Holes design thickness



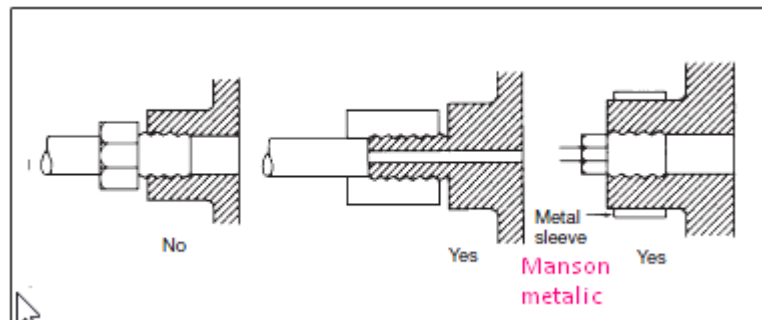
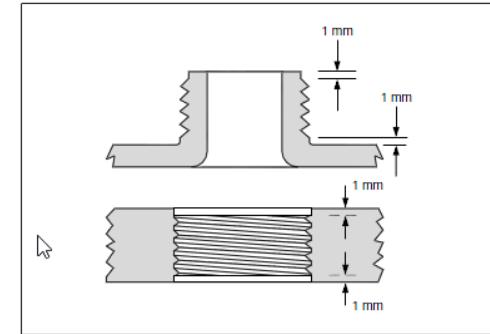
ANEXO 3: ALGUNAS DIRECTRICES PARA EL DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS MOLDEADAS
(DESIGN GUIDE - MÓDULO 1 DUPONT)



A3.7 Unstepped holes



A3.8 Correct threads termination



A3.9 Threaded metal-plastic threads

Tolerancias: en general, mediante el vertido en el molde, se pueden lograr tolerancias iguales a:
 $\Delta to = \pm (0,1 \dots 0,0015 * a)$ [mm]
 donde a es la medida en [mm].

