

73
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



PROCESOS DE FABRICACION DE ENVASES
Y EMPAQUES PLASTICOS.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A
DIANA HIDALGO MIRANDA

ASESOR:
I. Q. FERNANDO OROZCO FERREYRA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
SECRETARIA ACADEMICA
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos.
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

" Procesos de Fabricación de Envases y Empaques Plásticos "

que presenta la pasante: Diana Hidalgo Miranda
con número de cuenta: 8653017-0 para obtener el TITULO de:
Ingeniera Química

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 8 de Diciembre de 1992

PRESIDENTE	<u>I.Q. Rafael García Nava</u>	
VOCAL	<u>I.Q. Fernando Orozco Ferreyra</u>	
SECRETARIO	<u>I.Q.M. Rafael Sampere Morales</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Q. Jaime Mondragón Aguilar</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.Q. Eligio Pastor Rivero Martínez</u>	

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I

Generalidades sobre plásticos.....	1
I.1. Definición.....	1
I.2. Clasificación.....	3
I.2.1. Clasificación basada en el uso y aplicación de los plásticos.....	3
I.2.1.1. Plásticos "commodity" o gran volumen de uso.....	3
I.2.1.2. Plásticos "engineering" o resinas de ingeniería.....	4
I.2.2. Clasificación basada en el comportamiento térmico de los plásticos.....	5
I.2.2.1. Termoplásticos.....	5
I.2.2.2. Termofijos.....	6
I.3. Propiedades.....	6
I.3.1. Efectos mecánicos de la estructura.....	6
I.3.2. Estabilidad térmica.....	8
I.3.2.1. Comportamiento a altas temperaturas.....	8
I.3.2.2. Comportamiento a bajas temperaturas.....	8
I.3.2.3. Temperatura de transición vítrea.....	9
I.3.3. Resistencia a los disolventes.....	10
I.3.4. Resistencia a la intemperie.....	10

C A P I T U L O I I

Objetivos del embalaje.....	12
II.1. Generalidades.....	12
II.1.1. Acción protectora del embalaje.....	13
II.1.2. Rentabilidad del embalaje.....	16
II.2. Envase apropiado para la producción, para la mercancía, para el consumo.....	18
II.3. Puntos de vista para la elección del material.....	20
II.4. Prescripciones de los materiales para productos alimenticios.....	22
II.5. Prescripciones de los materiales para sustancias peligrosas.....	24

C A P I T U L O I I I

Procesos de fabricación de envases plásticos.....	25
III.1. Procedimientos e instalaciones.....	25
III.1.1. Moldeo por extrusión-soplado.....	25
III.1.2. Moldeo por inyección-soplado.....	29
III.1.3. Moldeo por inyección.....	31
III.1.4. Comparación de los tres métodos.....	33
III.1.4.1. Moldeo por extrusión-soplado.....	33
III.1.4.2. Moldeo por inyección-soplado.....	34
III.1.4.3. Moldeo por soplado vs moldeo por inyección.....	35
III.1.5. Otros procedimientos.....	37

III.1.5.1. Moldeo por soplado y estirado o de orientación biaxial.....	37
III.1.5.2. Moldeo por inyección-reacción (RIM)..	39
III.1.5.3. Moldeo de cuellos por inyección soplado.....	40
III.1.6. Operaciones de acabado.....	40
III.2. Materias primas.....	42
III.2.1. Selección de materia prima para el proceso de soplado.....	42
III.2.2. Selección de materia prima para el proceso de inyección.....	48
III.3. Mezclas, aleaciones y aditivos.....	51
III.3.1. Mezclas.....	51
III.3.2. Aleaciones.....	51
III.3.3. Aditivos.....	52
III.4. Reciclado.....	53
III.5. Control de calidad.....	56

C A P I T U L O I V

Elementos de cierre para envases plásticos.....	61
IV.1. Generalidades.....	61
IV.2. Cierres para vasos.....	64
IV.3. Cierres para botellas y cuerpos huecos.....	65
IV.3.1. Cierres normalizados o estándar.....	65
IV.3.2. Cierres soldados aplicables solamente a botellas y tubos de plástico.....	66

IV.3.3. Cierres enrollados y caperuzas para recipientes de cuello ancho.....	66
IV.4. Elementos de cierre fabricados en plástico.....	67
IV.4.1. Cierres con retención.....	68
IV.4.2. Cierres embutidos y tapas.....	69
IV.4.3. Cierres roscados.....	70

C A P I T U L O V

Beneficios a través de los avances tecnológicos.....	73
V.1. Mercado de los productos plásticos moldeados.....	73
V.2. Envases de PTE.....	76
V.3. Botellas de PTE resistentes al calor.....	77
V.4. Recipientes multicapas.....	80
V.4.1. Tipos de barreras.....	82
V.4.2. Procesos de fabricación.....	82
V.4.2.1. Coextrusión.....	83
V.4.2.2. Coinyección.....	83
V.4.3. Conclusiones sobre recipientes de barrera.....	83
V.5. Envases de PCV vs envases de PTE.....	84
V.6. Innovaciones.....	85
V.6.1. Contenedores plegables.....	86
V.6.2. Innovaciones en la maquinaria.....	88
V.7. Compra de resinas.....	90
C O N C L U S I O N E S.....	92

A P E N D I C E A - 1	
Ensayos mecánicos.....	95
A P E N D I C E A - 2	
Ensayos térmicos.....	100
A P E N D I C E A - 3	
Ensayos físicos.....	102
A P E N D I C E A - 4	
Pruebas para determinar alteraciones en el olor y sabor de los alimentos envasados en plástico.....	104
A P E N D I C E A - 5	
Ensayos bacteriológicos para plásticos.....	107
A P E N D I C E A - 6	
Especificaciones estándar para contenedores plásticos.....	110
B I B L I O G R A F I A.....	112

I N T R O D U C C I O N

Existen 3 clases de materiales importantes a disposición del Ingeniero Químico: los metales, los cerámicos y los polímeros.

La industria de los envases utiliza estos tres tipos de materia prima; el envase ideal debe ser, entre otras cosas, fuerte, tenaz, reutilizable y liviano, además de cumplir con las disposiciones legales sobre alimentos y sustancias químicas; sin embargo, ninguno de estos materiales cumple con todos los requisitos; por lo tanto, corresponde al Ingeniero Químico establecer antes que nada, la aplicación que se le va a dar al material, luego, definir las características ideales del mismo y, por último, alcanzar lo óptimo, escogiendo lo mejor de entre las diversas posibilidades a su alcance, para producir y/o emplear el componente más económico y seguro.

Hay un factor que recientemente ha cobrado importancia en cuanto a la elección del material a usar en la producción de envases: la posibilidad de ser reutilizado.

La utilización de plásticos para el envasado y embalaje de bienes de consumo ha presentado un crecimiento constante a partir de los años 40's, este aumento tiene numerosos motivos, contándose entre los más importantes, la apertura de nuevos campos de aplicación de los plásticos y la gran variedad existente de los mismos, así como el desarrollo de nuevos materiales con propiedades de barrera utilizados en la producción de envases multicapas. La automatización y el constante desarrollo de la maquinaria, también

han influido en este crecimiento debido a la adopción de nuevos métodos de producción, que han creado una gran cantidad de nuevos sistemas de embalaje con numerosas variantes.

El aspecto económico es uno de los factores clave en todo proceso, y el procesamiento de los plásticos, comparado con otros materiales como los metales, requiere de menor energía para obtener un producto final, además, con los plásticos se pueden obtener gran cantidad de productos a una velocidad menor que con otros materiales.

El presente trabajo pretende proporcionar una visión general sobre el estado actual de esta industria en particular; el capítulo I es una pequeña introducción al mundo de los plásticos, describiendo algunas de sus clasificaciones y de sus propiedades más relevantes para el uso final deseado (fabricación de un envase); en el capítulo II, se listan algunas de las características que debe cumplir un envase, en cuanto a rentabilidad y objetivo principal; en el capítulo III, se describen y comparan los tres procesos principales para producir envases plásticos, así como la maquinaria utilizada, las propiedades de las materias primas, los efectos que tienen los aditivos, mezclas, etc., en las propiedades de las mismas; se describe una operación de acabado, el etiquetado y se analiza un aspecto muy importante, el reciclado. El capítulo IV es una descripción de los diferentes métodos que hay para cerrar un envase, tomando en cuenta el tipo de recipiente, la naturaleza del contenido, etc.; el capítulo V y último, muestra algunos de los avances tecnológicos que ha habido

en este campo, tales como el desarrollo de materiales con propiedades de barrera, usados en recipientes multicapas, se describen dos métodos para obtener una botella resistente al calor para ser llenada en caliente, se muestra un diseño de una botella plegable, que ahorra espacio al reducir su tamaño y volumen, etc.

A modo de complemento, se describen algunas pruebas hechas a los plásticos, tanto a la materia prima como a los productos terminados, de acuerdo a las normas de la ASTM, con el fin de asegurar la calidad del producto.

Todo esto se hace con el fin de ofrecer los conceptos básicos, cuyo conocimiento permita al Ingeniero Químico tomar decisiones racionales con respecto a las formas más adecuadas para envasar un producto, el material idóneo a utilizar y la tecnología de fabricación óptima.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES SOBRE PLÁSTICOS

I.1. DEFINICION

Una definición generalmente aceptada para el término "plástico" es la siguiente: "Un material que contiene como ingrediente esencial una o más sustancias orgánicas de alto peso molecular que, siendo sólido en su estado terminado o final, en alguna etapa de su manufactura se torna líquido, y por lo tanto, es capaz de ser moldeado en diversas formas, usualmente (aunque no necesariamente), a través de la aplicación (de uno sólo o de ambos), de calor y presión".

Las sustancias orgánicas de alto peso molecular se conocen como polímeros, un polímero es una sustancia compuesta por moléculas caracterizadas por la repetición múltiple de una o más especies de átomos o grupos de átomos (monómeros o unidades constitucionales), unidas químicamente para formar estructuras en forma de cadena.

Dependiendo de su composición, los polímeros pueden ser:

a) **HOMOPOLIMEROS:** Constituidos por unidades de un mismo monómero, por ejemplo: el polietileno, formado a partir del monómero de etileno, exclusivamente.

b) **COPOLIMEROS:** Constituidos por dos o más unidades químicas de diferentes monómeros, los que reaccionan entre sí para formar la cadena del polímero, por ejemplo: el PCV (policloruro de vinilo),

formado a partir de monómeros de cloruro de vinilo y acetato de vinilo. (7,10)

Los plásticos son una familia de materiales, en donde cada uno de sus miembros, posee ventajas y propiedades distintivas y especiales. Por ejemplo, un plástico puede ser suave (poliuretano), o duro (melamina); claro (acrílico) u opaco (resinas fenólicas); resistente al calor (silicones) o ablandado por el agua caliente (polietileno); más ligero que el agua (polipropileno) o más pesado que el plomo (epoxidado cargado con plomo), dependiendo de la materia prima y del proceso de fabricación, así como de los aditivos agregados para modificar o mejorar las propiedades de cada plástico. (1,8,10)

Puesto que existe una gran variedad de ellos, cada uno provee un balance de propiedades dado, lo que permite al Ingeniero o al diseñador del producto terminado, una considerable libertad para escoger un tipo particular que cumpla con todos los requerimientos de procesado, demanda final y efectividad de costos; sin embargo, el éxito final depende no sólo de la correcta selección del plástico, sino considerando también las condiciones del proceso utilizado. De aquí la importancia de conocer el comportamiento fisicoquímico y mecánico de los mismos. (2,4,6)

Algunas de las ventajas y desventajas de los plásticos son las siguientes:

VENTAJAS:

- Alta resistencia eléctrica.
- Baja constante dieléctrica.

- Baja conductividad térmica.
- Alta relación de resistencia a la tracción a peso (plásticos reforzados).
- Facilidad de formado.
- Pocos o ningún problema de corrosión.
- Baja proporción de costo de material/producción.
- Baja densidad.

DESVENTAJAS:

- Baja resistencia a la compresión, al esfuerzo cortante y al esfuerzo de apoyo.
- Limitaciones en el uso prolongado a temperaturas elevadas.
- Añejamiento y efectos de la temperatura en ciertos climas.
- Fatiga en condiciones de esfuerzo por carga.

1.2. CLASIFICACION

Una de las clasificaciones de los plásticos se hace de acuerdo a consideraciones económicas y al uso que se le dará a los mismos; y otra se hace de acuerdo a la manera en que se comportan los plásticos bajo calentamiento y enfriamiento sucesivos. A continuación se describen ambas clasificaciones. (2,7)

1.2.1. CLASIFICACION BASADA EN EL USO Y APLICACION DE LOS PLASTICOS

1.2.1.1. PLASTICOS "COMMODITY" O GRAN VOLUMEN DE USO

Los plásticos "commodity" o gran volumen de uso se caracterizan por un alto volumen de producción y bajo costo; pueden

ser comparados con el aluminio y el acero en la industria metal-mecánica. Consisten principalmente en cuatro polímeros termoplásticos, polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PCV) y poliestireno (PEs). Ultimamente se ha agregado a estos cuatro polímeros el politereftalato de etilo (PTE), usado ampliamente en los procesos de moldeo por soplado. Los plásticos de gran volumen de uso representan alrededor del 90% de toda la producción de termoplásticos; el resto se divide en copolímeros de butadieno-estireno, copolímeros de acrilonitrilo-butadieno-estireno (4,5,10) (ABS), poliamidas y poliésteres.

1.2.1.2. PLASTICOS "ENGINEERING" O RESINAS DE INGENIERIA

Los plásticos "engineering" o resinas de ingeniería tienen un costo más elevado que los de gran volumen de uso y un menor volumen de producción; sin embargo, presentan mejor resistencia al calor, mayor resistencia al impacto, mayor dureza y tienen la capacidad de ser moldeados con estándares de alta precisión, por lo que pueden competir con los metales, las cerámicas y el vidrio en muchas aplicaciones. Algunos ejemplos de plásticos de este tipo son las resinas ABS, el nylon, policarbonato (PC), acrilonitrilo-estireno (SAN), poliestireno de alto impacto (HIPS) y poliésteres termoplásticos. Las resinas ABS y el poliéster termoplástico están en la línea divisoria entre los plásticos de gran volumen de uso y las resinas de ingeniería, pues tienen variedades en ambos grupos. (6,8)

I.2.2. CLASIFICACION BASADA EN EL COMPORTAMIENTO TERMICO DE LOS PLASTICOS

I.2.2.1. TERMOPLASTICOS

Los materiales termoplásticos son aquellos que requieren de calor y posteriormente de enfriamiento para tomar alguna forma. Las resinas termoplásticas consisten de una cadena principal, la que puede tener cadenas laterales cortas o grupos que no están unidos a otras moléculas, únicamente presentan atracciones secundarias (enlaces de Van der Waals) entre las cadenas moleculares; es decir, su estructura es lineal o poco ramificada, tal como se muestra en la figura 1. Estas atracciones se contrarrestan con facilidad al calentar la resina, dando como resultado la fusión del polímero; así pues, los termoplásticos pueden ser recalentados y remodelados en nuevas y diferentes formas un cierto número de veces, sin que cambien significativamente sus propiedades, por lo que pueden ser reprocesados sin dificultad. Usualmente, las resinas termoplásticas se compran como polímeros granulados o "pellets", que son ablandados por calor bajo presión para que puedan ser moldeados, y posteriormente enfriados para que se endurezcan con la forma final deseada. Generalmente no ocurren cambios químicos durante el moldeo.

Como ejemplo de materiales termoplásticos tenemos al polietileno, poliestireno, polipropileno, policloruro de vinilo, (1,7,10) politereftalato de etilo, nylon, etc.

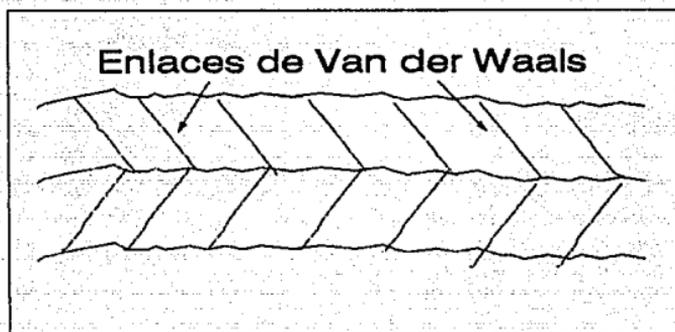


FIGURA 1. Estructura Termoplástica.

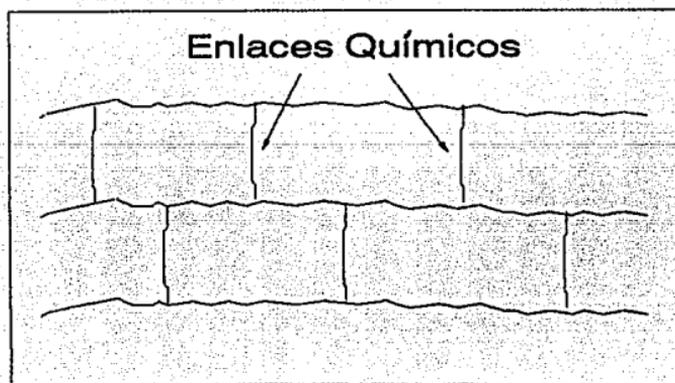


FIGURA 2. Estructura Termofija.

1.2.2.2. TERMOFIJOS

Estos plásticos también requieren de calor para tomar alguna forma, pero adquirida ésta, es permanente. En las resinas termofijas, las porciones reactivas de las moléculas forman enlaces entre ellas, por lo que su estructura es entrecruzada, como se ve en la figura 2, y por lo tanto, después de que un termofijo es moldeado, generalmente por presión y calor, no puede ser fundido o remodelado, pues el calor adicional lo degradaría, perdiendo sus propiedades.

Las resinas termofijas usualmente son compradas como una mezcla líquida de monómero - polímero, o como un compuesto parcialmente polimerizado; en esta condición, se le puede dar la forma final con o sin presión y ser polimerizado con ciertos reactivos químicos o calor.

Algunos ejemplos de materiales termofijos son las resinas fenólicas, las ureas, las melaminas, etc. (4,8)

1.3. PROPIEDADES

1.3.1. EFECTOS MECANICOS DE LA ESTRUCTURA

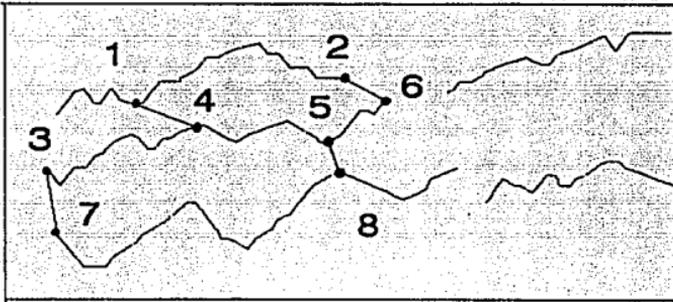
a) Termoplásticos: Los polímeros lineales como el polietileno, son muy flexibles. Los anillos y grupos laterales en la estructura del polímero tiene un gran efecto en las propiedades mecánicas tales como la dureza, la resistencia y la capacidad de deslizamiento de las moléculas. Las cadenas lineales de polímeros están sujetas a deformaciones plásticas o efectos cedentes al

someterlas a cargas. Esto resulta cuando las moléculas resbalan unas sobre otras, rompiéndose las fuerzas de atracción. La figura 3 muestra cómo después del deslizamiento, puedan establecerse nuevas atracciones. La capacidad de los termoplásticos de volver a su estructura original después de ceder la acción de las cargas es bastante pobre.

Los grupos laterales y los anillos en la cadena tienen el efecto de aumentar la rigidez, debido en gran parte al entrelazamiento que pudiera haber entre las moléculas. El incremento en las fuerzas de Van der Waals, también añade resistencia y rigidez al polímero.

En la tabla 1 se muestra el efecto de la estructura en las propiedades mecánicas de los termoplásticos.

b) Termofijos: Las propiedades de los polímeros entrecruzados dependen en alto grado del número de entrecruzamientos. Los materiales como las resinas epóxicas están situadas entre los termoplásticos y los fenólicos. Las propiedades pueden variar desde semiflexibles hasta duros/frágiles, en función de la resina y del agente de curado empleado, que puede ser una amina primaria o secundaria, anhídridos líquidos y algunas aminas terciarias. Los ciclos de curado pueden variar desde 1 hr hasta 16. Se efectúa el curado a temperatura ambiente cuando se le añaden a las resinas aminas alifáticas exactamente dosificadas. El curado es relativamente rápido, ya que las reacciones exotérmicas producen (2,5,7) temperaturas más o menos altas.



Termoplástico

Termoplástico estirado

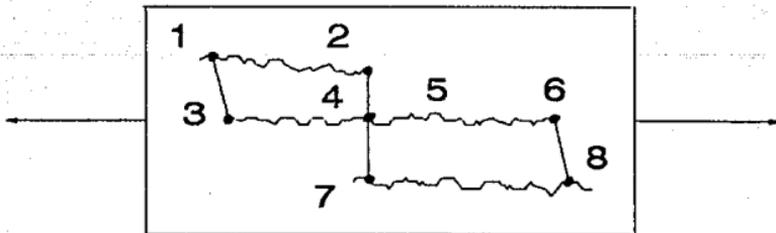


FIGURA 3. Deslizamiento de las moléculas

	Cadena recta	Grupos laterales	Anillos laterales	Anillos en el esqueleto
Estructura	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{C}-\text{H} \\ & & \\ & & \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & & \\ \text{H} & & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{H} \end{array}$
Características	Duro Resistente Deslizamiento medio	Duro Resistente Deslizamiento medio	Duro Frágil Deslizamiento bajo	Duro Resistente Deslizamiento bajo
EJEMPLO	Polietileno	Polipropileno	Poliestireno	Policarbonato

TABLA 1. Efecto de la estructura en las propiedades mecánicas

I.3.2. ESTABILIDAD TERMICA

I.3.2.1. COMPORTAMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS

La estabilidad térmica depende tanto de la estructura como de la composición química. Los átomos individuales y los grupos funcionales en la molécula del polímero, determinan la estabilidad térmica durante el proceso de fundido, así como la presencia de fuerzas de Van der Waals intensas, pues aumentan la temperatura de fusión de los polímeros. La cristalinidad también aumenta la temperatura de fusión de manera significativa.

Los polímeros lineales se reblandecen cuando la energía calorífica tiende a igualar a la intensidad de las fuerzas de Van der Waals entre las cadenas; en los polímeros entrecruzados, las fuerzas de los enlaces químicos son mucho más considerables que las fuerzas de Van der Waals; por consiguiente, los termofijos suelen ser más resistentes al calor que los termoplásticos.

I.3.2.2. COMPORTAMIENTO A BAJAS TEMPERATURAS

Por lo general, los plásticos aumentan su resistencia y se tornan más rígidos al disminuir la temperatura. Muchos polímeros también se vuelven más frágiles. La fragilidad es el resultado de la pérdida de capacidad cedente del plástico con respecto a las fuerzas aplicadas.

Para determinar el punto o temperatura de fragilidad, se usa una prueba de impacto que mide la energía requerida para provocar la ruptura del espécimen, tal como se muestra en la figura 4.

Conviene hacer notar que algunos plásticos tienen propiedades

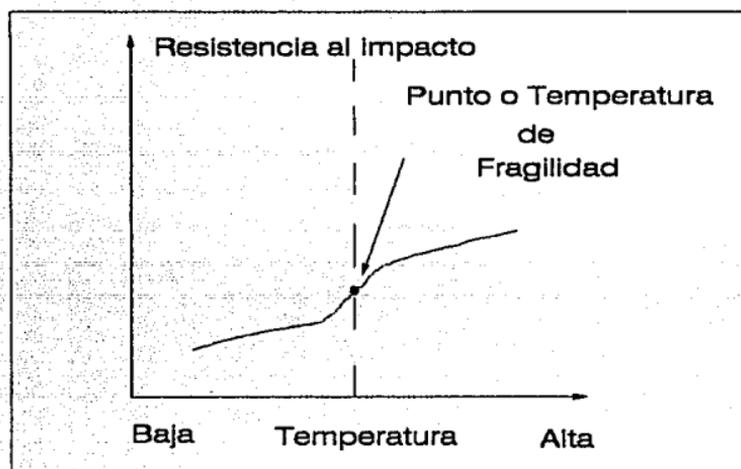


FIGURA 4. Determinación del punto o temperatura de fragilidad

Polímero	T de fragilidad (°C)
Polietileno	-120
Polipropileno	-18
Poliestireno	93
Policarbonato	-137
Poliuretano	-51

TABLA 2. Temperatura de fragilidad de algunos plásticos

útiles por debajo de sus puntos de fragilidad, por ejemplo, el poliestireno y el metacrilato de metilo pueden ser usados normalmente en su estado de fragilidad.

Los plásticos entrecruzados como los fenólicos, son poco afectados por las temperaturas bajas. Los plásticos con un alto grado de entrecruzamiento, suelen ser frágiles a temperatura ambiente y mantienen sus propiedades casi invariables incluso a temperaturas criogénicas.

En la tabla 2 se muestran varios puntos o temperaturas de fragilidad de algunos plásticos.

1.3.2.3. TEMPERATURA DE TRANSICION VITREA (T_g)

La temperatura de transición vítrea (T_g), es la temperatura abajo de la cual el polímero se comporta en forma similar al vidrio, siendo fuerte, muy rígido, pero básicamente frágil. Arriba de esta temperatura, el polímero no es tan fuerte ni tan rígido como el vidrio; sin embargo, tampoco es tan frágil. Los polímeros amorfos son duros y rígidos debajo de su T_g , y arriba de ella, son suaves y flexibles. Las propiedades mecánicas muestran cambios en la región cercana a dicha temperatura. Otras propiedades que también cambian en esta zona son el coeficiente de expansión térmica, la capacidad calorífica, índice de refracción, propiedades eléctricas, entre otras.

La naturaleza verdadera de la transición vítrea no es clara, y se han propuesto muchas teorías al respecto, actualmente en debate.

Para determinar T_g se usa una prueba que mide la energía

necesaria para provocar un cambio brusco en la longitud de la muestra, como se observa en la figura 5, y la tabla 3 lista las temperaturas de transición vítrea, las temperaturas de fusión y de descomposición de algunos polímeros.
(1,4,8,10)

I.3.3. RESISTENCIA A LOS DISOLVENTES

Por lo general, los termoplásticos son solubles en disolventes específicos. Las moléculas del disolvente separan las cadenas y éstas entran en solución. El secado hace volver al termoplástico a su estado normal, siempre y cuando el disolvente no haya interactuado con el polímero.

Los termofijos son poco afectados por los disolventes. Este tipo de polímeros no puede disolverse a menos que se rompan las uniones de entrecruzamiento. La figura 6 muestra lo anterior.
(6,7)

I.3.4. RESISTENCIA A LA INTEMPERIE

La resistencia a la intemperie depende de una combinación de factores ambientales que incluyen la luz ultravioleta (UV), el agua, el ozono y variaciones de temperatura. La luz UV es la que produce los efectos más pronunciados en los plásticos. La degradación del material toma varias formas en los diferentes plásticos:

- a) Fragilidad-cuartheaduras.
- b) Manchas blancas superficiales.
- c) Cambios de color.
- d) Variación de propiedades eléctricas, etc.

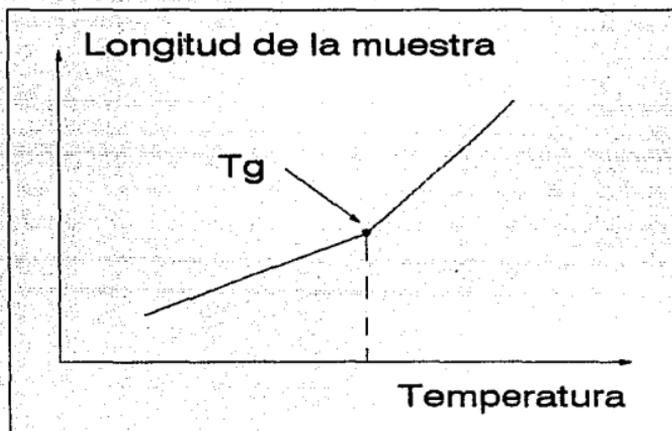


FIGURA 5. Temperatura de transición vítrea

Polímero	Tf (°C)	Tg (°C)	Td (°C)
Polietileno (PEAD)	135	-123	360
Polietileno (PEBD)	110	- 60	335
Polipropileno (PP)	170	- 10	330
Poliestireno (PEs)	240	82	325
PCV	210	80	160
PTE	265	81	283
Policarbonato (PC)	267	147	330

TABLA 3. Temperaturas de fusión, vítrea y de descomposición de algunos polímeros

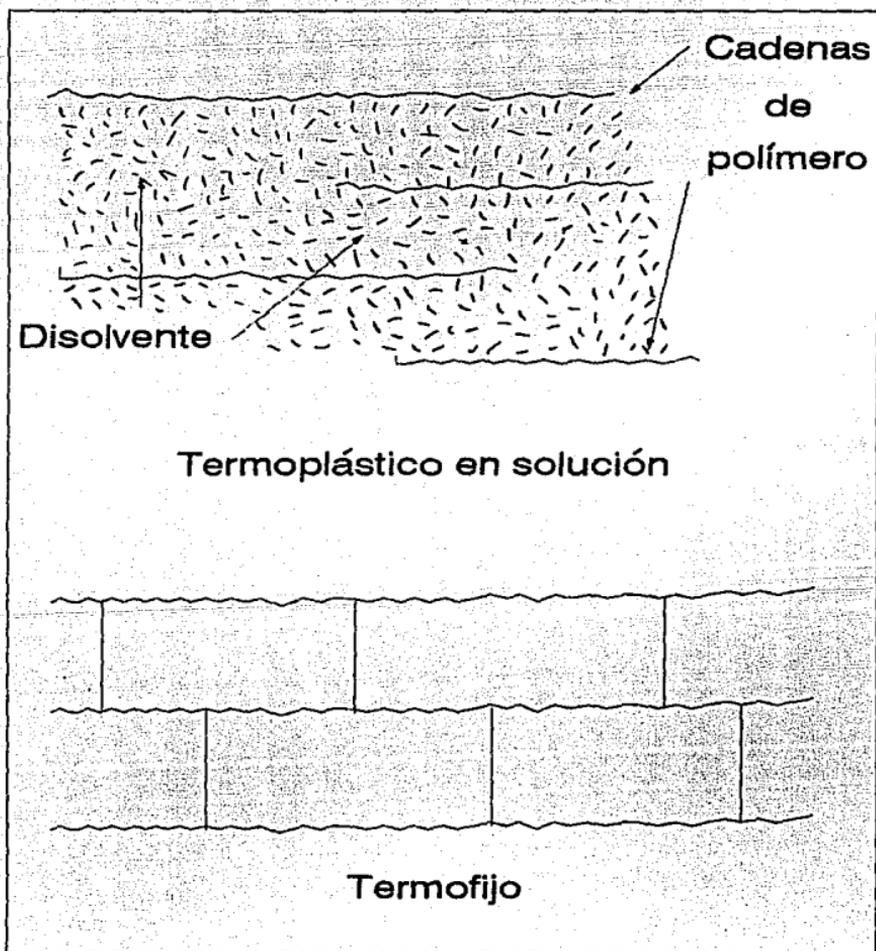
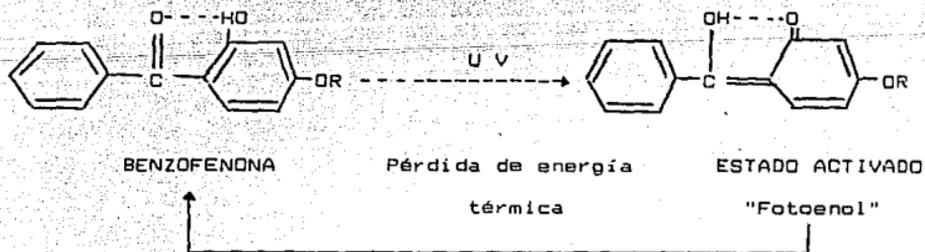


FIGURA 6. Resistencia a los disolventes

Los polimeros saturados son más resistentes al ataque UV y del ozono que los no saturados, debido a que éstos últimos presentan enlaces dobles capaces de oxidarse y entrecruzarse.

Algunos plásticos absorben UV en la superficie, con lo que aparecen manchas blancas, otros permiten el paso de la luz UV y se degradan por debajo de la superficie. Las consecuencias son fragilidad, cuarteaduras, oscurecimientos y otros cambios. La degradación es el resultado de la acción UV en el intervalo de longitudes de onda de 290 a 380 milimicras. Se pueden usar pigmentos como el negro de humo y el TiO_2 para proteger al polimero de la luz UV, excepto en la capa superficial. Existe una serie de aditivos que pueden absorber de manera selectiva las longitudes de onda detrimentales y convertir la energía UV en calor. Los absorbentes de uso más común son las benzofenonas modificadas, cuya estructura es la siguiente:



El polietileno, polipropileno, poliestireno y PCV, se degradan con la luz solar, mientras que los acrílicos transmiten los rayos UV casi sin sufrir daño alguno. (7)

CAPITULO II

OBJETIVOS DEL EMBALAJE

II.1. GENERALIDADES

El propósito principal del embalaje se reconoce en forma clara y sencilla. La primera misión de un embalaje es la de proteger la mercancía que contiene de las influencias externas. Las influencias pueden ser de tipo mecánico, tales como presión, choques, caídas, doblado, etc.; o bien, de naturaleza fisicoquímica, como la producida por intenso frío o calor, excesiva radiación o humedad, etc.

El embalaje facilita el transporte y permite caracterizar la mercancía por tipos, simplificando así el almacenaje. Las exigencias puestas en los embalajes modernos, llegan a reclamar que el embalaje sirva tanto para el transporte como para la distribución, sea apropiado para el consumo y finalmente pueda ser reciclado o reutilizado.

Aparte de su función protectora, el embalaje se hace cargo de las tareas de distribución, información, publicidad y racionalización. Entre las tareas de racionalización de un embalaje, se cuentan el facilitar los procesos industriales de llenado y cierre, así como la fácil apertura de un envase. Por lo tanto, el envase sin devolución adquiere una gran importancia, puesto que los envases que tienen que efectuar el camino de retorno desde el consumidor hasta el productor, a través del comerciante, en ningún caso son racionales. Un cálculo minucioso

demuestra casi siempre que los envases con devolución son más caros que los de un solo uso. Sin embargo, debido a los serios problemas que representan los desechos plásticos, ha empezado a resurgir la modalidad de los envases retornables o que pueden ser usados más de una vez. (3,15)

Antes de continuar, conviene aclarar que el término embalaje se ha utilizado hasta ahora como concepto general, abarcando envases, paquetes, envoltorios, cajas, frascos, bolsas, etc.; sin embargo, de ahora en adelante, se utilizará el término embalaje, refiriéndose a envase; específicamente al llamado "cuerpo hueco", que incluye recipientes en forma de botellas, frascos, bidones (3,10) barriles, tubos, ampollas, etc.

Con el fin de obtener un embalaje óptimo, que cumpla al máximo con las exigencias impuestas, se listan a continuación las características necesarias para tres sectores importantes:

- I. Fabricantes y envasadores de mercancías.
- II. Fabricantes de embalajes.
- III. Fabricantes de maquinaria productora y/o procesadora de embalajes.

Estas consideraciones se hicieron en cuanto a la acción protectora del embalaje y a su rentabilidad.

II.1.1. ACCION PROTECTORA DEL EMBALAJE

Para el grupo I, es decir, los fabricantes y envasadores de mercancías, las características de un embalaje óptimo en cuanto a su acción protectora son:

1) Determinación de las exigencias básicas de la mercancía.

a) Necesidades e influencias de la mercancía.

b) Tiempos de permanencia en el envoltorio.

2) Determinación de las influencias externas durante el tiempo de permanencia.

a) Condiciones de almacenaje.

b) Esfuerzos a resistir durante el transporte.

c) Influencias climáticas.

d) Ataques de parásitos.

e) Otros.

3) Elección del material adecuado para el embalaje.

4) Realización de un control adecuado.

a) Control de entrada del material o envase.

b) Control del proceso de embalado.

c) Control del embalado terminado.

d) Supervisión y valoración de reclamaciones y deseos del cliente.

Para el grupo II, fabricantes del embalaje, las características a determinar para la optimización del mismo, son las siguientes:

1) Preparación de materiales del embalaje y auxiliares que posean las propiedades indispensables con calidad uniforme.

2) Propiedades físicas y de utilización.

- a) Peso por unidad de superficie y espesor.
- b) Resistencia.
- c) Alargamiento.
- d) Rigidez.
- e) Permeabilidad (al vapor de agua, a los gases, aromas, líquidos, luz, etc.).
- f) Resistencia a la temperatura y radiación térmica.
- g) Resistencia al clima.
- h) Uniformidad dimensional.
- i) Deformabilidad.
- j) Capacidad de cierre (a presión, por pegado, sellado en caliente, por soldadura, etc.).
- k) Estabilidad frente a influencias físicas de la mercancía.

3) Propiedades químicas.

- a) Neutralidad a olor y sabor.
- b) Carácter fisiológico inofensivo.
- c) Contenido de sustancias solubles.
- d) Estabilidad frente a influencias químicas de la mercancía.
- e) Estabilidad frente a influencias químicas externas durante el almacenaje y transporte.

4) Propiedades bacteriológicas.

- a) Resistencia a los hongos.

b) Resistencia a las bacterias.

Para el grupo III, fabricantes de máquinas, las características requeridas son:

1) Suministro de máquinas embaladoras que elaboren el material adecuado dándole forma y efectuando el cierre, de modo que se alcance y mantenga un efecto protector óptimo.

- a) Dispositivo de recepción ajustable y adecuado para el material de embalaje.
- b) Elementos de transporte adecuados.
- c) Aparatos de cierre adecuados.
- d) Máquinas de funcionamiento seguro, mediante montaje de instrumentos de medición y control, ya sean manuales o automáticos. (Preferentemente automáticos.)
- e) Herramientas de conformación, plegado y corte apropiadas.
- f) Métodos y aparatos apropiados para operaciones especiales.
- g) Dispositivos adecuados de dosificación, llenado y transporte.

II.1.2. RENTABILIDAD DEL EMBALAJE

En cuanto a la rentabilidad de un embalaje, para el grupo I, tenemos que lo que se desea es:

- 1) Elección y obtención del material del embalaje óptimo para una mercancía.

- a) En el momento adecuado.
 - b) En cantidad racional.
 - c) A un precio razonable.
- 2) Almacenaje del material en locales apropiados.
- 3) Fijación del método y máquinas óptimas para el embalaje.
- a) Rendimiento deseado.
 - b) Ciclo de trabajo racional hasta la expedición.
 - c) Máxima reducción de costos.

Para el grupo II, se desea:

1) Suministro de un embalaje de buen precio, perfectamente apropiado para la mercancía, con resistencia al transporte y al clima.

2) Suministro de un material de embalaje apropiado para el maquinado.

- a) Resistencia mecánica.
- b) Rigidez.
- c) Capacidad de deslizamiento.
- d) Adecuación al cierre.
- e) Otras propiedades de influencia (tales como la deformabilidad, el rayado, etc.)

3) Suministro de un material de embalaje con estabilidad dimensional según las condiciones de suministro.

Para el grupo III, lo requerido con respecto a la rentabilidad de un embalaje es lo siguiente:

- 1) Suministro de máquinas a precio apropiado y funcionamiento seguro.
 - a) Rendimiento perfectamente adaptado a la producción, teniendo en cuenta la posibilidad de ampliación.
 - b) Posibilidad de elaborar distintos materiales de embalaje.
 - c) Funcionamiento seguro.
 - d) Aprovechamiento óptimo del volumen.
 - e) Reducido consumo energético.
 - f) Montaje racional, fácilmente accesible.
 - g) Mínimo mantenimiento.

II.2. ENVASE APROPIADO PARA LA PRODUCCION - PARA LA MERCANCIA - PARA EL CONSUMO

El envase de una mercancía es apropiado para la producción cuando su fabricación puede realizarse en forma rentable. Para ello, tienen que cumplirse las siguientes exigencias:

- a) Aprovechamiento favorable del material.
- b) Capacidad de fabricación en moldes sencillos.
- c) Buenas posibilidades de almacenaje y estibado.

Un envase es apropiado para la mercancía cuando ésta encuentra la máxima protección; para ello se precisará:

- a) Neutralidad entre el material de envase y la mercancía.
- b) Seguridad mecánica.

- c) Consideración de las propiedades específicas de la mercancía.

Un envase es apropiado para el consumo cuando satisface todas las exigencias en su manejo para el transporte, almacenaje, distribución y utilización de la mercancía. Tales exigencias son en particular:

- a) Facilidad de almacenaje tanto en las vías de distribución como por el consumidor.
- b) Facilidad de apertura y posibilidad de cerrarlo nuevamente.
- c) Vaciado sin problemas con cualquier nivel de llenado.
- d) Transparencia suficiente para que exista la posibilidad de ver el nivel de contenido.

Desgraciadamente, estas tres exigencias no pueden cumplirse siempre al configurar el embalaje, ya que la mayor parte de las veces, resulta necesario hacer ciertas concesiones en algunas de ellas en favor de las restantes, tal es el caso, por ejemplo, de la bolsa de polietileno utilizada para la leche, que presenta las ventajas de ser transparente, ocupa poco espacio, es ligera, es desechable y sumamente barata; sin embargo, tiene las siguientes desventajas: no permite una manipulación práctica, puede presentar desgarres y ocasionar derrames del contenido, requiere de dispositivos especiales para abrirla, y una vez abierta la bolsa, tiene que vaciarse el contenido en un recipiente adicional, por último, la bolsa de polietileno puede darle al producto un sabor a plástico. (3,10,20)

II.3. PUNTOS DE VISTA PARA LA ELECCION DEL MATERIAL

Los artículos inyectados o soplados pueden ser elaborados con la combinación de varios plásticos, por lo tanto, hay que buscar el o los materiales que cumplan con las exigencias impuestas por la mercancía en cuanto a su comportamiento mecánico, térmico, químico, eléctrico y físico.

Entre las propiedades que han de tener los materiales a usar, citaremos:

1) Mecánicas.

- a) Resistencia a la tracción.
- b) Resistencia al choque.
- c) Resistencia a la encalladura.
- d) Resistencia a la compresión.
- e) Alargamiento o rotura.
- f) Dureza.

En el Apéndice A-1, se describen algunos de los ensayos mecánicos que se le efectúan a los plásticos. (3,30)

2) Térmicas.

- a) Estabilidad térmica.
- b) Conductividad térmica.
- c) Dilatación térmica.
- d) Temperatura o intervalo de fusión.
- e) Carga térmica permanente admisible.
- f) Resistencia al frío.

En el Apéndice A-2 se describen algunas de las pruebas para evaluar estas propiedades. (3,10,30)

3) Químicas.

Los plásticos se juzgan químicamente según su estabilidad frente a alcoholes, compuestos aromáticos, grasas y aceites, ácidos, álcalis, gasolinas, etc.

4) Eléctricas.

De las propiedades eléctricas de los plásticos, para aplicaciones a embalajes, interesa principalmente el factor de pérdida o disipación dieléctrico (FP), que determina el trabajo de soldadura del material en el procedimiento de alta frecuencia.

5) Físicas.

a) Transparencia.

b) Opacidad.

c) Permeabilidad al gas y vapor de agua.

d) Absorción de agua.

e) Permeabilidad a los aromas.

f) Neutralidad de olor y sabor.

g) Capacidad de sellado.

h) Capacidad de soldadura.

En el Apéndice A-3, se describen las pruebas hechas para evaluar la absorción de agua en los plásticos, así como su resistencia a la intemperie.

II.4. PRESCRIPCIONES DE LOS MATERIALES PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS

La utilización de plásticos para el envasado de productos alimenticios es una de las principales aplicaciones de los mismos. Los artículos de consumo empleados en la obtención, fabricación, preparación, dimensionamiento, pesado, embalado, conservación y transporte de productos alimenticios y que entran en contacto directo con el alimento, deben someterse a las prescripciones de la ley.

Sin embargo, no puede esperarse de ningún material de envasado un comportamiento totalmente inerte frente a todos los productos alimenticios, por lo que la ley intenta limitar el uso de los materiales de modo que no haya que temer riesgos para la salud.

El control de aptitud de un plástico para el envasado de un producto alimenticio corresponde al usuario. La industria envasadora actúa así en una posición difícil, ya que muy pocas veces está en condiciones de realizar los controles indispensables. Por esta razón, el envasador intenta con frecuencia obtener un certificado del proveedor de material del envase en el que se determine el carácter "fisiológicamente inofensivo" del plástico con referencia a lo dispuesto por la ley.

Las investigaciones hechas para los controles de productos de embalaje, están destinadas a determinar métodos de control unitarios para las diversas aplicaciones, con objeto de eliminar la inseguridad que subsiste todavía en este terreno.

Como una investigación química no permite predicciones sobre modificaciones de olor y sabor, se han introducido métodos de

investigación, algunos de los cuales se describen en el Apéndice (3,7) A-4.

Respecto al concepto de aptitud de un artículo de consumo referente a los productos alimenticios, se utilizan los siguientes criterios:

a) Resistencia mecánica: Se refiere a los esfuerzos mecánicos que experimenta el artículo durante el contacto con el alimento; por ejemplo, suficiente rigidez a temperaturas elevadas, resistencia a presión y caídas, ausencia de grietas por tensión; incluidas todas las manipulaciones que son de esperar durante todo el proceso de embalaje, transporte, almacenaje, distribución, etc.

b) Comportamiento frente a la temperatura: Se refiere a que el producto debe resistir la temperatura probable de uso; por ejemplo: congelación, descongelación, esterilizado, horneado, llenado en caliente.

c) Inercia química: Resistencia frente a los componentes de los alimentos, por ejemplo, influencia por ácidos, absorción de sustancias aromáticas o cualquier otra que influya en el olor y sabor del alimento.

d) Permeabilidad adaptada a la sensibilidad de la mercancía frente a influencias externas como vapor de agua, oxígeno, luz, olores extraños, así como a los componentes de la mercancía para evitar pérdida del aroma, secado, migración de grasas o agua, aceites, etc.

e) Exigencias higiénicas: En artículos de consumo destinados

a utilización repetida, se requiere una adecuada calidad de la superficie y suficiente resistencia a los agentes de limpieza. Para los materiales de envase, debe haber pobreza en gérmenes, posibilidad de esterilización, impermeabilidad a los organismos dañinos, y eventualmente, impenetrabilidad de agentes nocivos.

En el Apéndice A-5, se describen algunas pruebas para determinar la resistencia de los plásticos a los hongos y las bacterias.
(3,22,30)

II.5. PRESCRIPCIONES DE LOS MATERIALES PARA SUSTANCIAS PELIGROSAS

Con respecto a las sustancias peligrosas, las exigencias impuestas al material indican que los recipientes deben de estar fabricados con plástico apropiado y en perfectas condiciones y según reglas técnicas de reconocimiento general. Queda expresamente prohibida la recuperación de materiales de recipientes utilizados, es decir, regenerados.

En el Apéndice A-6, se describen algunas especificaciones que deben cumplir los recipientes para productos del petróleo, tales como gasolina y queroseno.
(3,30)

C A P I T U L O I I I

PROCESOS DE FABRICACION DE ENVASES PLASTICOS

En este capítulo, se describirán los distintos procesos de fabricación usados para producir envases de plástico, particularmente los llamados "cuerpos huecos de embalaje". Este concepto, como ya se explicó anteriormente, abarca recipientes con capacidades entre aproximadamente 1 ml. hasta 800 lts.; tanto en forma de ampollas como tubitos, tubos, botellas, bidones y barriles, también pueden contarse aquí los envases llamados "de conicidad inversa".

Los procesos que se tratarán son tres principalmente, el moldeo por extrusión-soplado, moldeo por inyección-soplado y el moldeo por inyección.

III.1. PROCEDIMIENTOS E INSTALACIONES

III.1.1. MOLDEO POR EXTRUSION - SOPLADO

Este es el procedimiento más antiguo y todavía el más importante para fabricar envases plásticos, sus inicios se remontan a los años 30's, y a partir de los 40's, con la disponibilidad comercial del polietileno de baja densidad (PEBD), empieza su desarrollo, al introducirse en el mercado botellas para detergentes líquidos y blanqueadores, que sustituyeron rápidamente al vidrio, que es voluminoso y muy propenso a romperse.

A finales de los 50's, la industria lechera sustituye sus envases de vidrio y de cartón por los envases plástico de un galón.

los que fueron rápidamente aceptados.

A partir de 1960 a la fecha, el moldeo por extrusión-soplado ha experimentado un aumento anual del 10%, y esta tendencia continúa a medida que los productos que aún se envasan en vidrio y metal cambian a las botellas de plástico. (10,20)

En el moldeo por extrusión-soplado, cuyo proceso se ilustra en la figura 7, se plastifica en primer lugar un material termoplástico en una extrusora, de donde sale en forma de manguera; básicamente, el plástico es fundido por el calor transferido a través del cañón de la extrusora por la acción cortante del tornillo extrusor a medida que pasa a lo largo del mismo. El desarrollo helicoidal del tornillo cambia en toda su longitud, de un extremo interior a otro exterior, para asegurar un fundido uniforme y homogéneo, como se observa en la figura 8.

Girando continuamente, el tornillo alimenta el plástico fundido a una cabeza extrusora, de donde sale en forma de manguera o parison. Cuando el parison desarrolla una cierta longitud, un molde hueco dividido se cierra alrededor de él y aprisiona uno de sus extremos. Un cabezal de soplado introducido en el molde, o bien una aguja hueca que penetra transversalmente en el parison, sopla aire a una presión de 3 a 10 bar en el interior de la manguera aún caliente, y por lo tanto, plástica. La manguera se ensancha hasta que su superficie exterior hace contacto con el metal del molde refrigerado, con lo que el plástico se enfría y endurece con la forma deseada. Se elimina entonces la sobrepresión del aire y tras abrir el molde se extrae o expulsa el cuerpo hueco

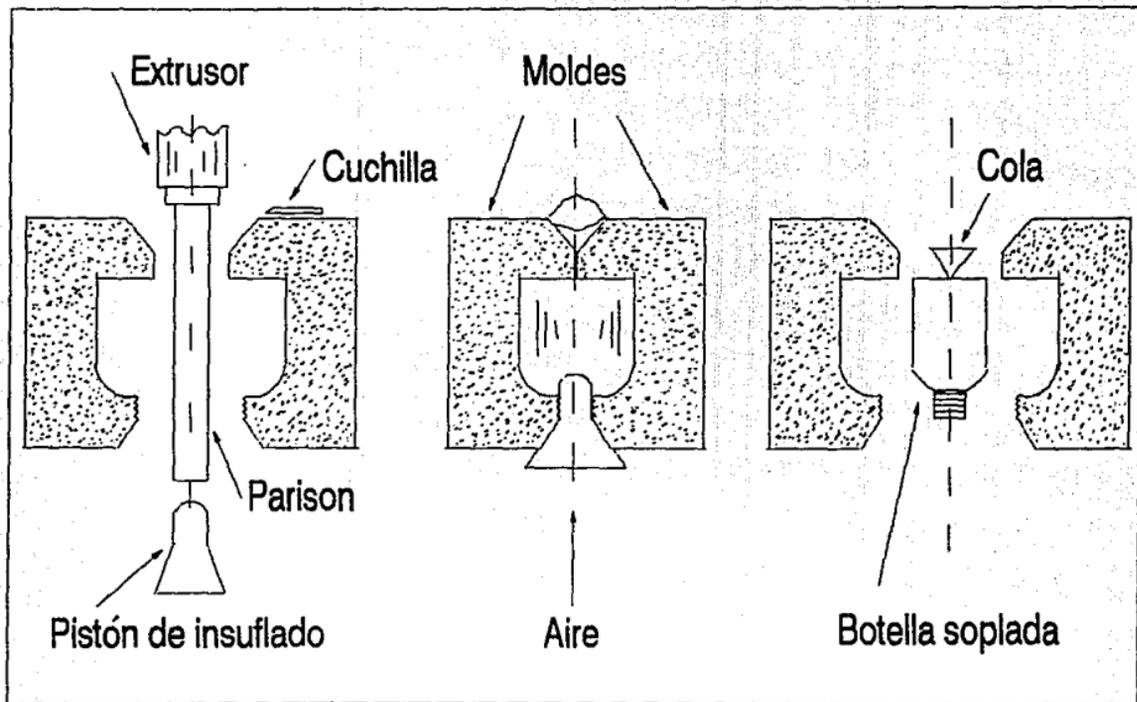


FIGURA 7. Proceso de moldeo por extrusión-soplado

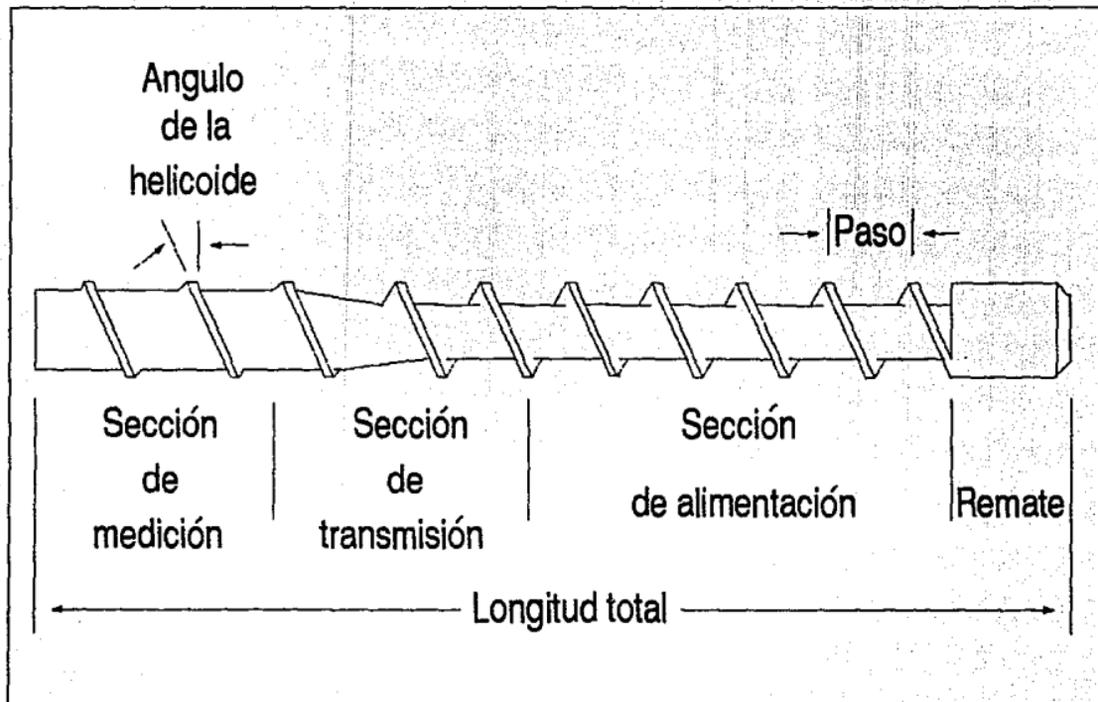


FIGURA 8. Diseño básico del tornillo extrusor

obtenido y se repite el ciclo, cuya duración se muestra en la (10,17) figura 9.

Como en toda elaboración con termoplásticos, hay que tener en cuenta que la velocidad de fabricación disminuye en gran medida al aumentar el espesor de pared del recipiente, por la baja conductividad térmica de todos los plásticos. El volumen o peso total del recipiente no representa más que un papel secundario, y el hecho de que los envases grandes se produzcan con menor rendimiento que los pequeños, se basa sobre todo en que su espesor de pared es casi siempre mayor. Por eso, las producciones horarias, referidas a un solo molde soplado pueden oscilar entre unas 600 piezas/hora, hasta unas 6 piezas/hora.

Otra característica del moldeo por extrusión-soplado, es el hecho de que ningún punto del envase puede tener mayor espesor de pared que la manguera preconformada, excepto en los puntos de aplastamiento, donde alcanza el doble. El espesor de pared puede controlarse mediante varias formas, ya sea controlando el parison, el diseño de los moldes o la relación de soplado (relación entre el diámetro del hueco y el del parison), ya que al aumentar ésta, disminuye siempre el espesor.

Para velocidades de extrusión muy elevadas, por ejemplo, en máquinas que alimentan varios moldes con una sola boquilla, pueden producirse desigualdades superficiales en la pieza extruida, llamadas "roturas de masa". Un material adecuado y el control de las condiciones de extrusión pueden resolver el problema.

Como en la extrusión-soplado el interior de la pieza no queda

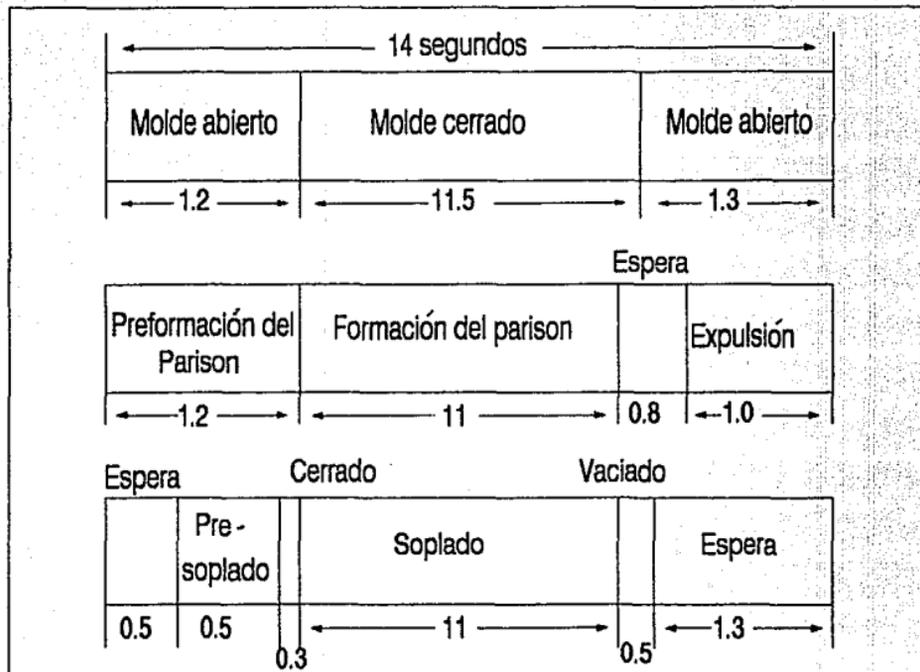


FIGURA 9. Duración del ciclo de moldeo por extrusión-soplado

definido por un núcleo metálico, sino por la presión del aire que actúa por igual en todos los puntos, en la práctica, la pared interior es paralela a la exterior, por tanto, no pueden formarse nervaduras internas o similares que no sean visibles por la parte externa.

La velocidad del proceso, siempre y cuando la extrusora tenga un suficiente rendimiento de plastificación, depende de la velocidad de refrigeración del plástico caliente; es decir, depende de la reducida conductividad térmica del plástico, la que no puede modificarse, y también de la temperatura del material, del espesor de pared de la manguera, de la temperatura del molde y de las condiciones de transmisión térmica. Existen ciertas condiciones importantes para que un trabajo sea rentable, tales como una cuidadosa construcción del sistema de refrigeración del molde, realizada con agua a una temperatura constante, generalmente entre $+4^{\circ}\text{C}$ y $+8^{\circ}\text{C}$. Otra forma de mejorar la productividad de la máquina es utilizar enfriadores del aire insuflado a los moldes, para soplarlo a una temperatura de alrededor de -70°C ; este efecto aumenta la productividad entre un 15 y un 30%.

Otra forma de aumentar el rendimiento de la máquina, aunque no el de los moldes, es la alimentación de varios moldes en la misma máquina, de una manera simultánea y/o sucesiva, la cual habrá de tener una potencia adecuadamente superior. (3,10,11,17)

Las instalaciones de moldeo por extrusión-soplado que ofrece el mercado son muy similares en su forma de trabajo, aunque básicamente divergen en construcción, rendimiento y tamaño. Estas

diferencias residen en:

1) El tamaño de la extrusora (diámetro del husillo, potencia de accionamiento, rendimiento de plastificación, etc.).

2) La disposición de la extrusora (cilindro horizontal o vertical).

3) La dirección de salida de la manguera (vertical en extrusoras verticales, horizontal o también, mediante un cabezal angular, vertical en las extrusoras horizontales).

4) Las dimensiones de las placas portamoldes, y por lo tanto, de los propios moldes.

5) La fuerza de cierre.

6) La cantidad de boquillas extrusoras (una o dos, raramente más).

7) La cantidad de estaciones de moldeo (una o dos).

8) El número de moldes por estación (uno o dos, aunque pueden ser hasta ocho).

9) La dirección de soplado (desde arriba, desde abajo, lateralmente).

10) El grado de automatización.

11) El tipo y dirección de transporte de la manguera a la estación de soplado, etc. (3,10)

III.1.2. MOLDEO POR INYECCION - SOPLADO

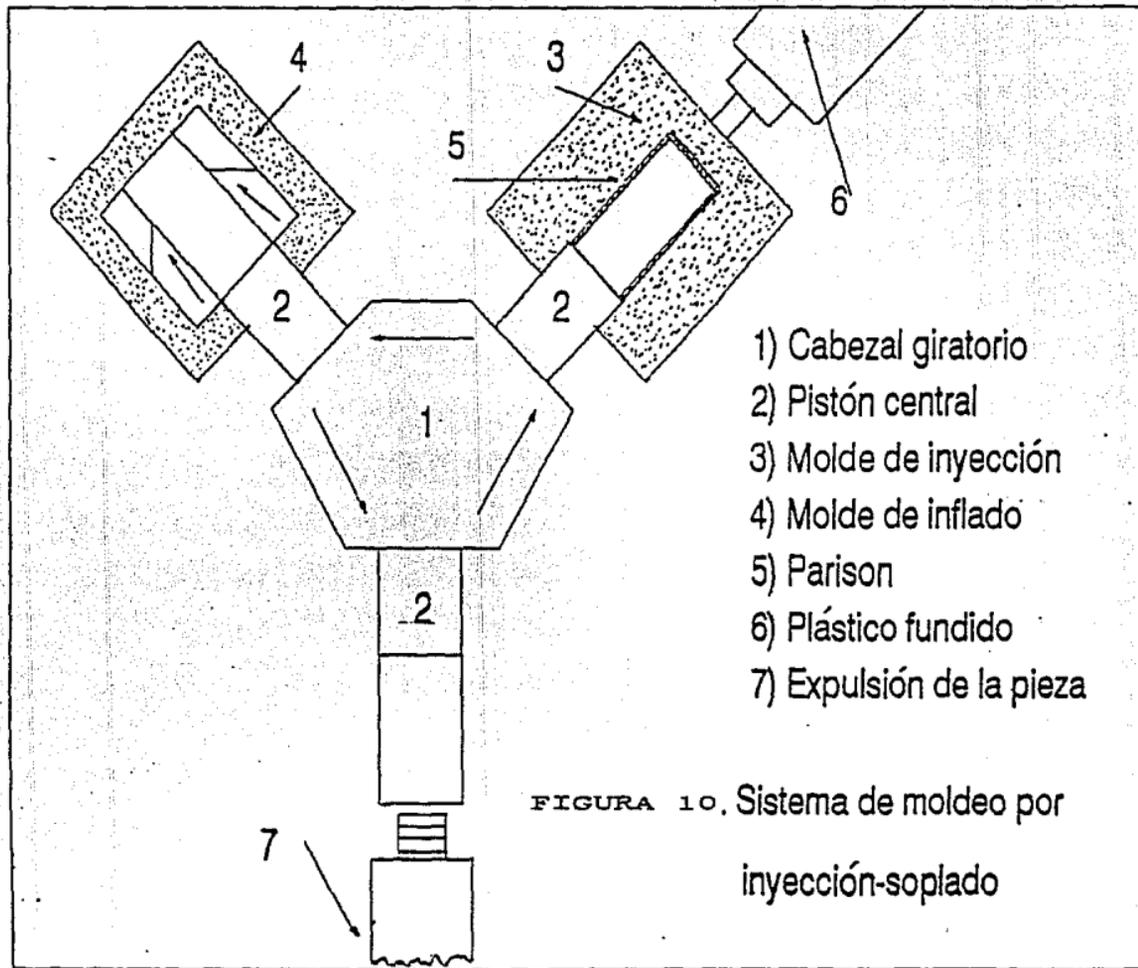
Apenas un 10% de la producción mundial de cuerpos huecos corresponde a este procedimiento.

Mientras que el moldeo por extrusión-soplado se desarrollaba

para producir grandes contenedores, el moldeo por inyección penetró en la industria farmacéutica con frascos pequeños de poliestireno que podían ser moldeados por inyección dado que tienen paredes lisas. La industria de cosméticos y la farmacéutica prefería a los plásticos debido a su peso ligero y a su dureza, comparados con el vidrio. A partir de estos pequeños frascos, la industria desarrolló una forma modificada del moldeo por inyección, llamada moldeo por inyección-soplado. La figura 10 muestra un esquema de este procedimiento. (10)

El moldeo por inyección-soplado consta básicamente de 3 etapas; en la primera etapa, el plástico fundido en una extrusora con tornillo recíprocante es inyectado en un molde de acero hueco y dividido para producir un parison preformado, con formas que oscilan desde una campana hasta un tubo de ensayo. El molde se mantiene a temperaturas de entre 70 y 100°C. Durante esta etapa se controla el peso y se moldea la configuración del cuello de la pieza. Tras abrir el molde, el núcleo con la pieza todavía caliente y plástica se desplaza por avance o giro hasta la estación de soplado o segunda etapa, donde penetra en un molde de soplado, (generalmente de aluminio) con la cavidad deseada. A continuación se introduce aire a través del núcleo, que posee una válvula; el material se separa entonces del núcleo y se extiende hasta alcanzar la superficie interna refrigerada de la cavidad del molde, donde se enfría y adquiere su forma definitiva. El contenedor se transporta a la tercera etapa donde es expulsado de la máquina.

Algunas máquinas poseen una cuarta etapa, que puede estar



entre las etapas 1 y 2, para proporcionar mayor tiempo para adquirir la temperatura de acondicionamiento, o puede estar entre las etapas 2 y 3, para ejecutar alguna operación de acabado, como el etiquetado. También puede colocarse entre las etapas 3 y 1, para detectar cualquier anomalía en los envases y reutilizarlos.

En la figura 11 se muestran las etapas del ciclo completo.

El procedimiento de inyección-soplado se emplea para producir cuerpos huecos de hasta 4 lts., pero por lo general, sólo hasta 1 lt. de capacidad.
(9,10,20)

III.1.3. MOLDEO POR INYECCION

El procedimiento de inyección se basa sobre todo en la plastificación por medio de un cilindro caliente de una masa de moldeo consistente en polvo o granulado, que se inyecta a continuación por medio de un elemento presor (pistón o husillo de movimiento axial) a través de una boquilla, introduciéndola en un molde cerrado por medio de altas presiones. La resina se modifica y el molde abre expulsando a la pieza formada. Se debe tener cuidado de no mantener el plástico a una temperatura alta durante demasiado tiempo, pues se pueden degradar sus propiedades.

Los moldes de inyección para termoplásticos se mantienen a una temperatura inferior al intervalo de ramblandecimiento o cristalización del polímero correspondiente. Esta temperatura es de entre 100 y 140°C, en todo caso, esta temperatura es más baja que la temperatura de la masa inyectada al molde.

En la figura 12 se muestran los elementos de la unidad

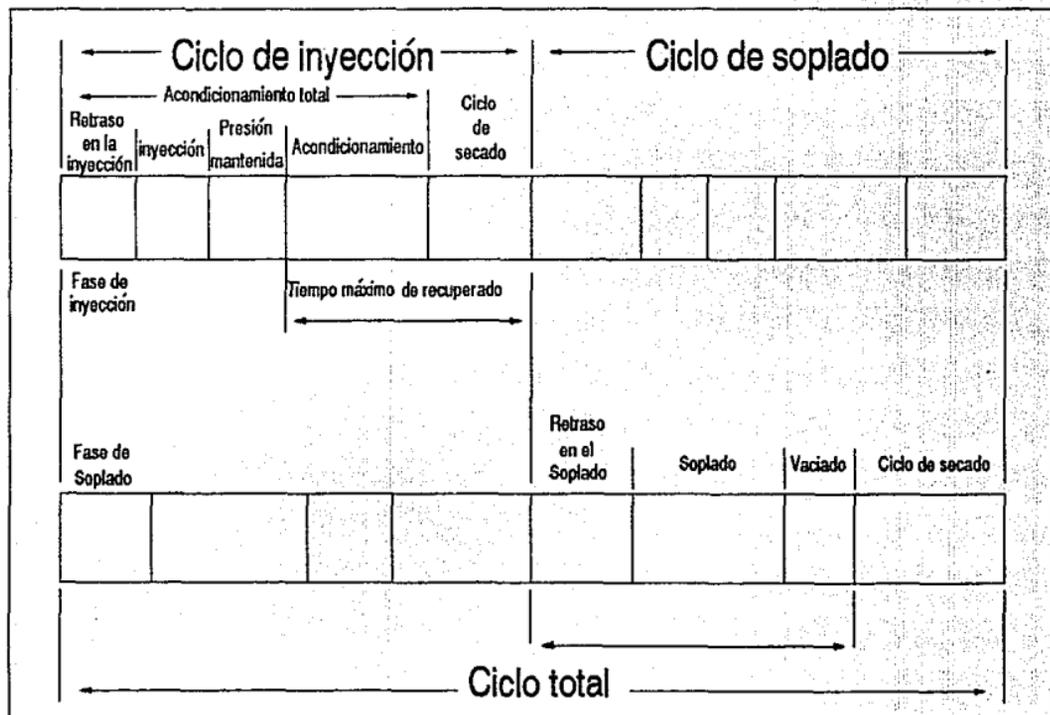


FIGURA 11. Ciclo de moldeo por inyección-soplado

inyectora:

- a) Motor de accionamiento para el giro del husillo.
- b) Accionamiento hidráulico del movimiento axial del husillo.
- c) Interruptor final izquierdo para la posición de compresión posterior, interruptor final derecho para limitación de carrera del husillo.
- d) Tolva de llenado con masa de moldeo fría.
- e) Husillo de transporte, plastificación e inyección.
- f) Cilindro de inyección con bandas calefactoras.
- g) Cámara de acumulación de masa plastificada.
- h) Boquilla caliente.
- i) Molde de inyección fijado a la unidad de cierre.

Los pasos de operación se describen a continuación:

- 1) El husillo, que en este caso no gira, transporta la masa plastificada del molde, actuando como émbolo.
- 2) La pieza solidifica bajo la presión del husillo.
- 3) Cuando la unidad inyectora abandona la unidad de cierre, la pieza es expulsada del molde abierto. Al mismo tiempo, el husillo en giro retrocede hasta el interruptor final derecho, recoge la masa de la tolva y la transporta a la cámara colectora para el siguiente disparo.

Las piezas inyectadas de grandes dimensiones, y muchas veces también las piezas medianas, se obtienen casi siempre en moldes simples; pero a menudo puede ser poco rentable fabricar piezas pequeñas y moldes simples, por lo que, precisamente para la

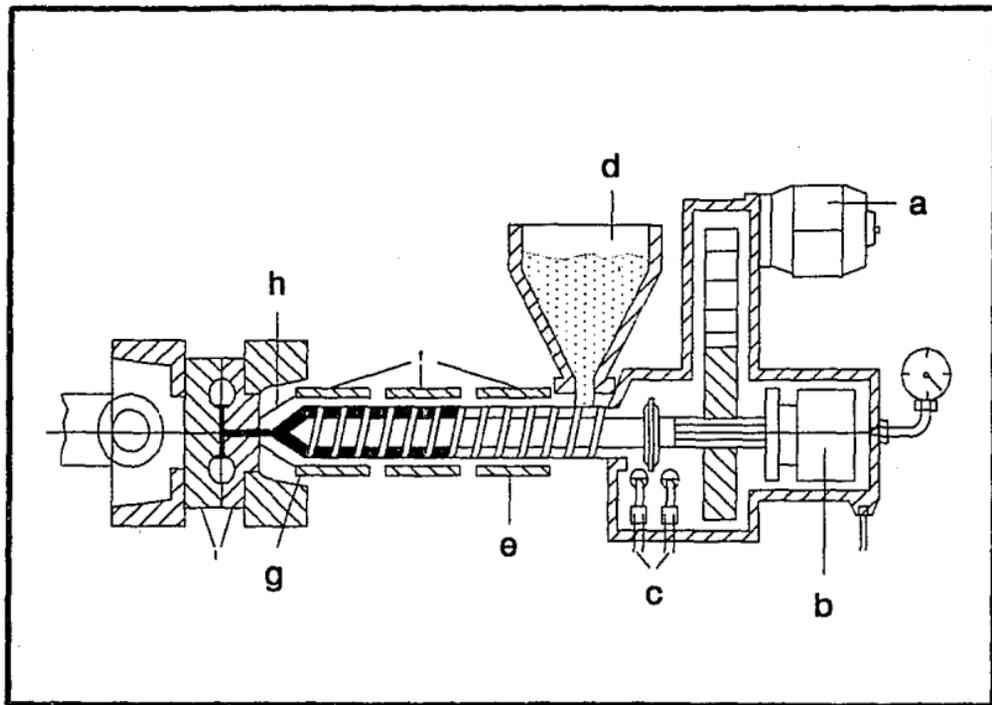


FIGURA 12. Componentes de la maquina inyectora

inyección de piezas para cierres fabricados en plástico, se emplea con frecuencia los moldes múltiples. La figura 13 nos muestra algunas de estas posibles ejecuciones.

La condición indispensable para la producción de piezas inyectadas correctas, es, por una parte, que la unidad inyectora pueda elaborar por cada disparo suficiente cantidad de masa plastificada de manera uniforme, con suficiente presión y en corto tiempo; por otra parte, se precisa que el molde se mantenga cerrado con suficiente fuerza durante el proceso de inyección, de modo que no pueda escaparse la masa a lo largo de la línea de partición del molde (formando la llamada rebaba).^(3.9)

III.1.4. COMPARACION DE LOS TRES METODOS

A continuación se comparan estos 3 métodos de producción de cuerpos huecos, mencionando sus ventajas y desventajas.

III.1.4.1. MOLDEO POR EXTRUSION-SOPLADO

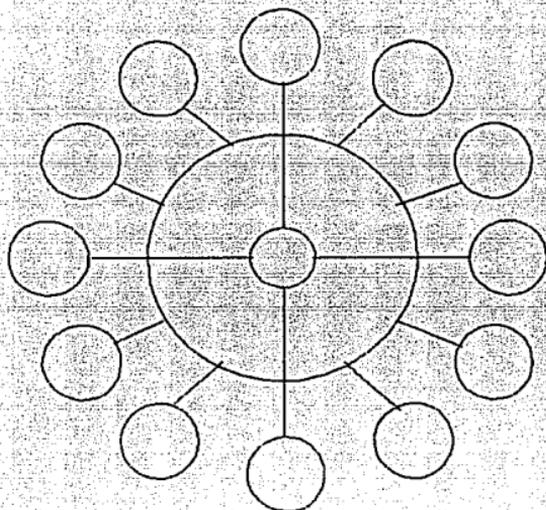
VENTAJAS:

Las ventajas de este método incluyen:

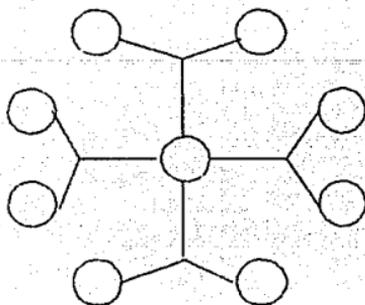
- a) alta velocidad de producción,
- b) bajo costo de maquinaria,
- c) amplia gama de fabricantes de maquinaria,
- d) utiliza un sólo molde,
- e) se pueden producir contenedores de gran tamaño, etc.

DESVENTAJAS:

Como desventajas debemos citar:



a) Colada de canal anular



b) Distribución en estrella

FIGURA 13. Tipos de moldes múltiples

- a) gran cantidad de "mazarotas" o desperdicios,
- b) reciclado de desperdicios,
- c) control limitado de la distribución del material y del espesor de pared,
- d) para ciertos tipos de moldes, el decorado se puede hacer directamente, pero para otros, se tiene que realizar en forma separada, etc. (8,25)

III.1.4.2. MOLDEO POR INYECCION-SOPLADO

VENTAJAS:

Las principales ventajas de este método son:

- a) Peso más constante de las piezas, debido a que el llenado de un molde de inyección cerrado a altas presiones puede realizarse con tolerancias más estrechas que la extrusión de una manguera.
- b) Dimensiones más constantes de la pieza, ya que la pieza preformada no sólo se configura por su superficie exterior, como las piezas extruidas y sopladas, sino que queda rodeada por paredes metálicas de moldeo, tanto la superficie interior como la exterior.
- c) Por idéntica razón, es más fácil determinar el espesor de pared y la distribución de paredes de los cuerpos huecos, ya que la adecuada configuración del núcleo y la matriz de inyección definen con exactitud la posición y dimensiones de las zonas más gruesas.
- d) No hay mazarota ni otros desperdicios.
- e) Aumento de tenacidad del plástico por el alargamiento biaxial producido al soplar; lo que es muy importante para

plásticos de por sí quebradizos, como el poliestireno y el PCV rígido.

f) Ausencia de marcas en el cuello, estrechamiento y fondo, que son inevitables en las botellas moldeadas por extrusión-soplado, debido al aplastamiento de los trozos de manguera sobresalientes.

DESVENTAJAS:

Como desventajas de la inyección-soplado, se pueden citar las siguientes:

a) dado que el núcleo del molde de inyección precisa suficiente estabilidad para evitar que la alta presión de inyección lo desplace hacia un lado, ha de tener un diámetro de unos 15 mm y el cuerpo hueco acabado no puede tener una longitud superior a 10 veces el diámetro interior del cuello.

b) para cada pieza se necesitan dos moldes (molde de inyección para la pieza preformada y molde de soplado para el cuerpo hueco), lo que incide en los costos.

c) el peso de las piezas, su espesor de pared y la distribución de espesores no pueden variarse por una simple corrección de la tobera, como en el caso de la extrusión-soplado, sino que hay que rectificar los moldes.

(8,10.25)

d) alto costo de maquinaria, etc.

III.1.4.3. MOLDEO POR SOPLADO VS MOLDEO POR INYECCION

Al comparar el moldeo por soplado con el moldeo por inyección, es obvia una diferencia técnica muy significativa. El moldeo por

soplado se realiza a presiones que van de 25 a 150 psi, entre el plástico y la superficie del molde. El moldeo por inyección requiere presiones de 2000 a 20000 psi; estas altas presiones afectan la orientación del polímero, y por lo tanto, resulta una distribución desproporcionada de las tensiones. Las tensiones internas menores en los artículos soplados mejoran su resistencia a todo tipo de esfuerzos (por tensión, al impacto, al doblado, ambientales, etc.), y consecuentemente, el producto puede tener propiedades de operación o manejo superiores.

Puesto que el equipo requerido para el moldeo por soplado consta únicamente de un solo molde, o molde femenino, es posible variar el espesor de pared y por lo tanto, el peso de los productos terminados, mediante cambios simples en las partes de la maquinaria o en las condiciones de extrusión del parison; esto es una gran ventaja tanto en tiempo como en costos. En el moldeo por inyección, hacer dichos cambios para cada variable es excesivamente caro.

Con el moldeo por soplado, es posible obtener paredes casi del grosor del papel, lo que no puede obtenerse con el moldeo por inyección. Ambos métodos pueden usarse con éxito para obtener paredes muy gruesas.

Con el moldeo por soplado pueden usarse algunos plásticos, tales como el polietileno, con un peso molecular mayor que el que puede manejar el moldeo por inyección. Por esta razón, se pueden moldear productos utilizando la mayor dureza de los plásticos con mayor peso molecular. Esta resistencia extra es necesaria para las

botellas de plástico usadas para detergentes o para envasar sustancias como químicos industriales que promueven las fallas por tensión.

En cuanto a costos, kilo a kilo de producto terminado, los costos de la maquinaria para el moldeo por soplado son de entre la mitad y la tercera parte del costo de la maquinaria para moldeo por inyección usada para producir el mismo producto o uno similar. Los moldes para soplado tienen un valor del 10% del costo de los moldes para inyección usados para un producto similar. (7,9,17)

III.1.5. OTROS PROCEDIMIENTOS

III.1.5.1. MOLDEO POR SOPLADO Y ESTIRADO O DE ORIENTACION BIAIXIAL

Este proceso puede usarse tanto en sistemas de extrusión o de inyección. El envase es estirado radialmente por el aire insuflado, y a lo largo del eje vertical, por medios mecánicos. El resultado es que las moléculas se alinean en dos planos, un arreglo que agrega dureza al producto terminado. Esta no es la única ventaja de este proceso, también se obtienen mejor claridad, mayor resistencia al impacto, mejores propiedades de barrera, mejor control del espesor de pared, lo que permite que el peso del producto se reduzca, bajando los costos del material.

A principios de los años 70's, se desarrollaron dos nuevos plásticos para usarse con este proceso, el politereftalato de etilo (PTE) y el acrilonitrilo. Estos dos materiales pueden ser biaxialmente orientados y proporcionan una botella con alta

resistencia que puede soportar presiones de alrededor de 100 psi en su interior, que se requiere en los procesos de producción de las bebidas carbonatadas (refrescos). Por lo tanto, el PTE se adueñó del mercado de las botellas de refresco con capacidad de 2 litros, que originalmente eran de vidrio.

El acrilonitrilo no se usó para envasar bebidas puesto que a mitad de los 70's, se probó que contenía algunos componentes carcinógenos; sin embargo, esta restricción actualmente no existe y el acrilonitrilo puede ser utilizado en la industria de las bebidas. Lo mismo ocurrió con el PCV, otra resina que puede procesarse con este método, y que se usa en otras aplicaciones alimenticias.

Este proceso puede dividirse en dos categorías:

a) En línea, realizado en una sola máquina y que puede procesar PCV, PTE y PP. Una vez formado el parison, pasa a través de estaciones de acondicionamiento para llevarlo a la temperatura de orientación adecuada, y se mantiene un estricto perfil de temperaturas en dirección axial del mismo; las ventajas que ofrece este proceso son la disminución en la cantidad de calor aplicado (lo que es importante en los materiales sensibles al calor, tales como el PTE y el PCV), y la posibilidad de controlar el parison para obtener una distribución óptima del material.

b) En dos etapas, proceso que requiere tanto de una línea de extrusión o de inyección para producir las preformas y una máquina de recalentamiento y soplado para producir los envases. Una vez que las preformas extruidas o inyectadas han sido moldeadas y

enfriadas, pasan a la segunda etapa, que es un horno donde se recalientan a la temperatura apropiada para la orientación.

Las ventajas de este proceso son una producción mínima de desperdicios, mejor acabado de las roscas, mayor velocidad de producción y la capacidad de producir productos apilables.

En cualquiera de los sistemas de estirado, el control preciso del calor en el momento en que la orientación biaxial tiene lugar, así como el control de las dimensiones del parison, son esenciales para una manufactura exitosa. Las temperaturas aproximadas a las que los materiales presentan sus máximas propiedades son: para el (10,15,19,29)
PP: 160°C, PCV: 120°C y para el PTE: 107°C.

III.1.5.2. MOLDEO POR INYECCION-REACCION (RIM)

En años recientes, un nuevo proceso de inyección, el moldeo por inyección-reacción, ha sido importante en la fabricación de polímeros termofijos. Este proceso difiere de la inyección convencional porque el producto terminado se hace directamente a partir de monómeros o precursores poliméricos de bajo peso molecular. Los que son mezclados rápidamente e inyectados en un molde mientras la reacción de polimerización se lleva a cabo. Para que este proceso tenga éxito, los monómeros deben reaccionar rápidamente y las velocidades de reacción deben ser cuidadosamente sincronizadas con el proceso de moldeo. Hay, sin embargo, ventajas obvias: la síntesis del polímero anterior al moldeo es eliminada, y la energía requerida para el manejo de los monómeros es menor que la necesaria para manejar los polímeros viscosos. Gran parte del

desarrollo de este proceso se hizo para los poliuretanos, pero también otro tipo de polímeros se han beneficiado con esta tecnología. (9,28)

III.1.5.3. MOLDEO DE CUELLOS POR INYECCION-SOPLADO

Cuando este proceso entró al mercado, la industria se dió cuenta rápidamente de que combinaba las ventajas de los moldeos por extrusión e inyección. Permite inyectar un acabado de cuello bastante preciso, pero sin requerir las intrincadas preformas de moldeo requeridas para la inyección-soplado, de ahí la razón del nombre. Los moldes son simples y pueden ser construídos al mismo tiempo que los de la extrusión-soplado. Algunas de las ventajas de este proceso son: casi no hay producción de desperdicios, los costos de maquinaria son menores, es más simple de operar, ocupa menos espacio, los moldes se pueden cambiar más rápido, etc. (10)

III.1.6. OPERACIONES DE ACABADO

Una operación considerada como de acabado es el decorado de los cuerpos huecos, no para embellecerlos, sino para aumentar el efecto publicitario y el estímulo de compra, aspectos muy importantes sobre todo en los envases sin devolución. Algunas de las mejoras obtenidas con el decorado son resistencia al uso, al rayado, a la radiación ultravioleta, a los químicos, etc. La decoración puede proporcionar tanto identificación como información del producto. Todo el decorado depende de la aplicación de una superficie marcada o una capa de pintura cubriendo permanentemente

la superficie del plástico, sin dañar la forma original, las propiedades o la apariencia. Virtualmente, todo plástico moldeado puede ser decorado con diversas técnicas, como son el pintado con spray, el estampado en caliente, la metalización, la impresión offset y el etiquetado tanto posterior al moldeo como el realizado al momento de moldearse el producto; puesto que esta última técnica ha creado numerosas ventajas económicas, se describe a continuación.

El etiquetado "en el molde", se realiza insertando una lámina o papel de etiqueta dentro del molde durante el ciclo de soplado, por lo que la etiqueta llega a ser parte de la pared de la botella y se fusiona con la superficie. El proceso elimina la operación de etiquetado de la línea de embalado y crea la posibilidad del llenado dentro de esa misma línea, además de que se utiliza menos material en la botella puesto que la etiqueta agrega soporte estructural a la misma.

Algunas de las ventajas del etiquetado en el molde incluyen la resistencia que le proporciona a la botella y la ausencia de arrugas y marcas en la etiqueta. Para botellas de 1.9 litros o más, se obtiene un 10% de pérdida de peso, debido a que se utiliza menos material.

Este proceso se usa para envases moldeados con polietileno de baja y alta densidad, PP, PCV, PTE y PC, siendo los favoritos el PEAD y el PCV.

Toda esta acción en el etiquetado es muy importante puesto que un producto en estantería tiene un corto período para venderse.

Debe promover una imagen de calidad y valor al instante. Una etiqueta despegándose de la botella no inspira confianza al cliente, y una botella con la etiqueta mal colocada puede perder su impacto.

El etiquetado en el molde promete solucionar algunos de los problemas relacionados con el etiquetado de envases plásticos, puesto que aparte de las ventajas antes mencionadas, con esta tecnología se pueden colocar etiquetas más grandes y de variadas formas, por lo que la apariencia es mejor. (12,13,16)

III.2. MATERIAS PRIMAS

III.2.1. SELECCION DE MATERIA PRIMA PARA EL PROCESO DE SOPLADO

Para el soplado de cuerpos huecos sólo se usan termoplásticos, y concretamente para embalajes los 3 tipos principales: poliolefinas (polietileno y polipropileno), policloruro de vinilo (PCV) y polimerizados de estireno (poliestireno normal, poliestireno antichoque, etc.), añadiéndose a ellas el politereftalato de etilo (PTE).

A continuación, se describen algunas de las propiedades de dichos termoplásticos.

a) POLIETILENO

El desarrollo industrial de moldeo por soplado empezó en Europa alrededor del año de 1950 con el polietileno de alta presión (polietileno de baja densidad, $\rho < 0.94 \text{ g/cm}^3$, PEBD, polietileno ramificado), el único de que se disponía en esta fecha.

Aproximadamente dos años después se añadió el polietileno de baja presión (polietileno de alta densidad, $\rho > 0.94 \text{ g/cm}^3$, PEAD, polietileno lineal), que ha superado en notable cantidad al PEBD como material de partida para cuerpos huecos soplados, pues representa alrededor de un 80% de todo el consumo de plástico usado por el moldeo por extrusión-soplado.

Las piezas medianas y grandes se fabrican sobre todo con PEAD, entre otras causas porque su mayor rigidez permite un peso de tara mucho menor para una capacidad determinada de recipiente. También se dispone de otros tipos de polietileno de alta densidad con un peso molecular elevado, caracterizados por una gran tenacidad. Entre las principales ventajas de los dos tipos de polietileno como material para cuerpos huecos soplados citaremos:

- 1) Gran surtido en tipos, escalonados por densidad, rigidez, peso molecular y similares.
- 2) Fácil elaboración, reducida sensibilidad térmica del material fundido.
- 3) Gran tenacidad (resistencia a las caídas), incluso a temperaturas muy bajas.
- 4) Buena flexibilidad de los tipos más blandos, sin presencia de plastificantes líquidos que puedan ser lixiviados.
- 5) Suficiente capacidad de aplastamiento de los envases, con una configuración apropiada.
- 6) Nula formación de grietas por tensiones.
- 7) Buenos valores de permeabilidad frente al vapor de agua.
- 8) Gran resistencia frente a productos químicos de los tipos

más diversos.

9) Admisión como envase de productos alimenticios de todo tipo.

Como desventajas o cuestiones a considerar hay que citar:

1) La permeabilidad frente a los gases como oxígeno, dióxido de carbono, etc., es sólo moderada.

2) Interacción moderada respecto a componentes del sabor, olor y aroma.

3) Con excepción de algunos tipos de PEBD, la transparencia es de mediana a baja.

4) Hinchamiento medio o fuerte del PEBD en aceites minerales y vegetales.

Para muchas aplicaciones, en particular para el envasado de productos de la industria química y quimiotécnica (industria que se encarga de elaborar aceites para motor y anticongelantes para automóviles), las ventajas superan con mucho a las desventajas, por esta razón, un poco más de las 3/4 partes de envases producidos actualmente en el mundo son de polietileno. (3,7,23)

b) POLICLORURO DE VINILO

El policloruro de vinilo (PCV) flexible contiene del 20 al 50% de plastificantes líquidos, que si bien apenas son lixiviados por el agua, sí pueden serlo por muchos líquidos orgánicos, inclusive grasas, aceites y similares. Asimismo, tales líquidos pueden

migrar hacia los plastificantes. Por este motivo, no se emplea para envases de alimentos; se utiliza en pequeña escala tan sólo para tubos soplados destinados a productos químico-técnicos.

A excepción de lo anterior, habrá de entenderse PCV rígido, donde se indique PCV.

La utilización del PCV se inició más tarde que la del polietileno, alrededor de 1960, debido a la limitada estabilidad térmica del PCV; lo que exigió un considerable trabajo de desarrollo de materia prima y maquinaria antes de que se pudiese obtener resultados satisfactorios. En la actualidad, es el segundo material usado para embalajes fabricados por medio de moldeo por extrusión-soplado; sin embargo, está siendo desafiado por el polipropileno y el PTE biaxialmente orientados.

Las principales ventajas del PCV como materia prima son :

- 1) Gran rigidez.
- 2) Carácter incoloro y muy buena transparencia con una correcta formulación y elaboración.
- 3) Muy buenas propiedades de barrera frente a gases, aromas, vapores, etc. (Permeabilidad).
- 4) La permeabilidad al vapor de agua es algo superior a la del polietileno, pero en valores absolutos permanece muy baja, por ser más reducidos los valores de permeabilidad a los gases.

Como desventajas hay que citar:

- 1) Debido a la sensibilidad térmica del PCV a las temperaturas de elaboración, la extrusión y soplado de este material resulta

más difícil, (aunque hoy se domina por completo), que la del polietileno.

Los sobrecalentamientos y/o tiempos de permanencia excesivos en la máquina caliente producen manchas o vetas oscuras o incluso negras, que por lo general hacen necesario un paro y limpieza interior de la máquina. Por igual motivo, existen limitaciones en cuanto a la cantidad de desperdicio triturado regenerable (desperdicios y piezas defectuosas).

2) El PCV es frágil a temperaturas inferiores a unos 0°C e incluso a temperatura ambiente, no puede considerarse como resistente al choque. Sin embargo, esta resistencia puede mejorarse considerablemente mediante la combinación con otro polímero, incluso sin perjudicar la transparencia.

3) La ventaja de la superior rigidez en comparación con el polietileno no puede aprovecharse totalmente por cuestión de peso, ya que los valores de densidad del PCV son casi un 50% superiores a los del polietileno (1.8 g/cm³ frente a 0.92-0.96 g/cm³).

4) El intervalo de reblandecimiento del PCV se sitúa aproximadamente entre 70 y 75°C, de modo que los cuerpos huecos de PCV no pueden emplearse para envases de llenado en caliente ni para esterilización.

Con PCV se envasan productos de uso doméstico como blanqueadores, detergentes, tintas, aceites industriales, ceras, shampoos, cremas, perfumes, pasta de dientes, algunos reactivos químicos, licores, jugos, miel, mermelada, etc. (3,23)

c) POLIPROPILENO

El polipropileno (PP) se distingue del PEAD sobre todo por su rigidez algo más elevada y un punto de reblandecimiento unos 30°C más alto (160° frente a 130°C). El polipropileno presenta muy buena transparencia, sin embargo, la resistencia a la caída (tenacidad) es limitada para los envases fabricados con este material, en especial a bajas temperaturas, ya que el PP se hace fuertemente quebradizo alrededor de 0°C. El polipropileno combinado con otro polímero es más tenaz y posee mayor resistencia al frío, aunque no es tan transparente.

Las propiedades de permeabilidad respecto a gases, vapores, aromas, etc., son comparables en magnitud con las del PEAD; la principal ventaja del PP es, por tanto, su mejor estabilidad térmica. Por esta razón, los envases de polipropileno se emplean en primer lugar, aunque hasta ahora en forma limitada, para mercancías que se envasan en caliente o que han de esterilizarse (3,23) tras el envasado.

d) POLIESTIRENO

El poliestireno normal (PEs) se emplea en escala relativamente reducida para frasquitos de medicamentos incoloro-transparentes o marrón-transparentes; así como en tonalidades opacas para envases de productos de cosméticos.

La fragilidad del poliestireno normal no tiene importancia para estos envases relativamente pequeños, ni para las mercancías citadas, como tampoco la permeabilidad a los gases y vapor de agua,

relativamente elevada; sin embargo, se consideran ventajas, su gran rigidez, el buen brillo superficial y en parte su transparencia vítrea.

Las botellas de poliestireno antichoque modificado con caucho se emplean en ocasiones para mercancías en polvo, como polvos para fregar y similares. (3,23)

e) POLITEREFTALATO DE ETILO

El PTE es una resina termoplástica que se desarrolló en los años 70's. para usarse en el moldeo por soplado con estirado o biaxialmente orientado.

Tiene una densidad de 1.35-1.40 g/cm³, es claro, presenta una permeabilidad al vapor de agua moderada, buena resistencia a los ácidos, a los alcoholes, al aceite mineral, al frío y a la luz solar, tiene buena dureza y excelente resistencia al impacto, su costo es moderado y es reciclable.

Se usa ampliamente en el envasado de refrescos, comida en general y bebidas alcohólicas; sin embargo, como no tiene buena resistencia al calor, las botellas de PTE deben ser llenadas a temperatura ambiente o menor de 70°C. Actualmente se ha desarrollado un método para producir botellas resistentes al calor, con lo que aumentarán todavía más las aplicaciones de este material. (16,19,21)

III.2.2. SELECCION DE MATERIA PRIMA PARA EL PROCESO DE INYECCION

Mientras que en el moldeo por soplado ocupa sin duda alguna el primer lugar el polietileno, seguido por el PCV rígido y de los

restantes polímeros a gran distancia; en la inyección, el orden es distinto: poliestireno normal, antichoque y el polietileno a la cabeza, seguidos por el polipropileno y el PCV.

a) POLIESTIRENO NORMAL

El poliestireno normal es el más antiguo de los termoplásticos totalmente sintéticos y se elabora por inyección desde hace unos 45 años. Se caracteriza por su elevada rigidez, muy buena transparencia, facilidad de elaboración, baja densidad (1.05 g/cm³) y precio reducido. Como desventajas se citan su fragilidad, la tendencia a formación de grietas capilares por influencia de muchas sustancias, entre ellas grasas, aceites y ácidos de frutas y sus valores de permeabilidad al gas y vapor de agua no muy buenos. El poliestireno normal es el material estándar para embalajes de grandes series como bandejillas, vasos y similares, y también botes hasta de 1 litro de capacidad, así como para muchos cierres roscados, como tapones para tubos.

El poliestireno normal es sobre todo un material para inyección, los otros procesos de fabricación de embalajes, como por ejemplo el soplado y termoconformación con películas, no tienen en México un papel importante para el poliestireno normal. (9,23)

b) POLIETILENO

Todos los tipos de polietileno, tanto el PEBD y el PEAD, son materiales de inyección de gran importancia. Sin embargo, la principal contribución del PEBD en el sector de embalaje se encuentra en las películas, pero no se debe dejar de lado su empleo

en inyección.

Las ventajas del polietileno son su fácil elaboración, baja densidad (PEBD 0.916 a 0.935 g/cm³, PEAD 0.94 a 0.96 g/cm³), excelentes valores de permeabilidad frente al vapor de agua, muy buena resistencia al frío (importante, sobre todo para embalajes congelados, botes para frigoríficos y similares), elevada resistencia al choque, gran variedad de valores de rigidez que pueden seleccionarse a voluntad, por medio de mezclas de PEBD y PEAD.

La principal desventaja para embalajes es la permeabilidad a los gases, aromas y similares, presente en todas las poliolefinas, que desciende al aumentar la densidad, pero que resulta todavía considerable en el PEAD. (9,23)

c) POLIPROPILENO

Mientras que el PEAD, con un punto de reblandecimiento de unos 130°C no puede considerarse como esterilizable en un sentido estricto - a una temperatura de esterilización de 121°C, la deformación es ya considerable -, el polipropileno, si puede ser esterilizado, pues tiene un intervalo de reblandecimiento de alrededor de 160°C. Sus propiedades son de gran importancia y son muy similares a las del PEAD: la rigidez es algo mayor, la transparencia es mucho mejor, en especial para espesores pequeños, que permiten un rápido enfriamiento. Una ventaja es el buen brillo superficial, asociado a una dureza también superficial muy alta (el PP no puede rayarse con la uña). (3,9,23)

d) POLICLORURO DE VINILO

El PCV blando se elabora por inyección, pero se emplea raras veces para embalaje ya que su precio por volumen es superior al del PEBD, casi igualmente blando. Por otra parte, el contenido en plastificantes líquidos limita su aplicación para el contacto de muchas mercancías químico-técnicas, pero especialmente para los productos alimenticios. (9,23)

III.3. MEZCLAS, ALEACIONES Y ADITIVOS

III.3.1. MEZCLAS

Una mezcla, en su definición más simple (referida a la industria polimérica), es la combinación de una base de resinas plásticas con colores, modificadores, aditivos, refuerzos y rellenos de otros polímeros para lograr que dicha base tenga un mejor desempeño, cueste menos, se procese con más facilidad, tenga mejor apariencia o para mejorar cualquier otra de sus características. En otras palabras, a través del arte-ciencia de la mezcla, los plásticos pueden cambiar para cumplir cualquiera de los literalmente cientos de diferentes parámetros precio/desempeño/procesado, dictados por los requerimientos del proveedor, el procesador y el usuario final.

Básicamente, la industria de las mezclas se compone de 3 elementos importantes: los proveedores de la resina, los mezcladores independientes y los procesadores/usuarios finales.

Los proveedores de las resinas cambian al polímero a una forma comercialmente utilizable, como pellets, gránulos o polvos.

Ellos también se encargan de agregar color a la resina, combinar dos o más plásticos diferentes, agregar aditivos, etc.

III.3.2. ALEACIONES

Una aleación es una combinación de un sistema polimérico al que se le han agregado modificadores y/o refuerzos, con lo que se obtiene un incremento en sus propiedades.

Las aleaciones se pueden clasificar como homogéneas o heterogéneas. Las primeras pueden ser descritas como una solución con una sola fase o una sola temperatura de transición vítrea (T_g), las segundas tienen dos fases, tanto continuas como dispersas, cada una de ellas con su propia T_g distintiva.

Hasta hace poco, la aleación estaba restringida a polímeros con afinidad física o se empleaba un tercer compuesto, un compatibilizador. Como una regla, los polímeros incompatibles producen aleaciones heterogéneas con propiedades físicas pobres. Sin embargo, actualmente, se ha desarrollado un tipo de polímero reactivo, que enlaza químicamente un grupo reactivo, agregado a uno de los polímeros, con un grupo funcional de otro polímero. Mediante esto se pueden alea polímeros incompatibles sin que se pierda su carácter termoplástico.

La tabla 4 muestra algunas de las propiedades más relevantes de varias aleaciones comerciales.

III.3.3. ADITIVOS

Virtualmente, todo polímero en uso comercial contiene

Aleación	Propiedades
PCV/acrílico	Resistencia química Resistencia al impacto Resistencia a la flama
PCV/ABS	Mejora procesabilidad
ABS/polisulfonas	Bajar el precio
PC/ABS	Dureza Resistencia al impacto
PCV/poliimida	Transparencia

TABLA 4. Propiedades de algunas aleaciones

TIPO	FUNCION
Plasticantes	Aumentan la flexibilidad
Refuerzos	Aumentan la dureza
Antioxidantes	Previenen la oxidación
Pigmentos	Imparten color
Promotores	Favorecen el curado
Antiespumantes	Reducen espumación
Antiflama	Reducen flamabilidad

TABLA 5. Aditivos para polímeros

aditivos. Sus propósitos son básicamente dos:

- 1) alterar las propiedades del polímero y,
- 2) mejorar su procesabilidad.

Aquellos con el primer propósito varían desde pigmentos y odorificantes usados por razones estéticas, hasta plastificantes para mejorar las propiedades mecánicas. Los que cumplen el segundo propósito varían desde lubricantes para prevenir que el polímero se pegue a la maquinaria procesadora, hasta compuestos que alteran la estructura química. Los aditivos pueden ser completamente miscibles, o como el caso de los refuerzos, totalmente inmiscibles. Algunos aditivos reducen los costos. El polvo de madera se agrega a los polímeros de fenol-formaldehído como reductor de costos, así como para reducir la fragilidad. En la tabla 5 se listan algunos aditivos, así como su función. (2,4,8,10,26,27)

III.4. RECICLADO

En el moldeado por soplado, especialmente con la extrusión, debido a la naturaleza del sistema, se genera una cierta cantidad de desperdicio en las áreas de acabado. En algunas piezas, el desperdicio puede ser tanto como el 50% del peso total de la misma, por lo tanto, es una necesidad económica el que este material sea reutilizado, para lo cual, el desperdicio debe mantenerse limpio, libre de suciedad, aceite y grasa, puesto que cualquier sustancia extraña, por pequeña que sea, estropearía la apariencia y degradaría las propiedades de una pieza moldeada por soplado o

podría alterar la eficiencia de la maquinaria por un cierto tiempo.

Los sistemas de moldeo por soplado, producen un promedio del 30% de desperdicios al fabricar las piezas. Este material se deja enfriar, se tritura y se alimenta a la extrusora. De esta forma, el desperdicio se utiliza conforme se genera. Si se alimenta la resina caliente dentro del triturador, se pegará a las cuchillas y parará el motor. Limpiar un triturador bajo estas condiciones es sumamente difícil.

En algunos casos, es preferible no usar ningún material regenerado al fabricar ciertas piezas críticas; sin embargo, el reciclado debe ser utilizado por razones económicas. En estos casos, una máquina puede ser designada para trabajar con el 100% de reciclado para hacer piezas menos críticas. Se ha encontrado que cuando se usa 100% de reciclado, las temperaturas de la extrusora se pueden reducir entre 10 y 20° con respecto al material virgen y (10,25) aún así operar satisfactoriamente.

En cuanto al reciclado de productos ya utilizados, en la actualidad se reciclan todos los tipos de plástico, puesto que este material es 50% más barato que el material virgen, y con frecuencia posee propiedades físicas comparables a los materiales recién fabricados.

Una gran área de reciclado está en las botellas de politereftalato de etilo (PTE). Debido a la enorme producción de botellas de este material, su reciclado es bastante atractivo. Se están desarrollando sistemas para convertir los envases de PTE incinerados, a vapor, agua caliente o aire caliente para usarse en

el proceso de embotellado o en otras plantas.

Muchas compañías químicas están desarrollando métodos para reutilizar los químicos usados en estas botellas tales como el ácido tereftálico y el etilenglicol.

Actualmente, las fibras de relleno, usadas para rellenar almohadas, asientos, chamarras, etc., es uno de los mayores usos de las botellas de PTE recicladas, pues se necesitan 5 botellas de 2 litros para producir fibra suficiente para rellenar una chamarra pequeña para esquiar. Los productos que pueden obtenerse a partir del PTE reciclado son los siguientes:

a) Mezcla de PTE:

- correas y bandas
- postes para bardas
- pinturas industriales
- brochas
- fibras para fregar

b) Fibras de relleno para:

- almohadas y cojines
- bolsas para dormir
- chamarras para esquiar

c) Fibras:

- cuerdas
- filtros
- vestido
- bajo alfombras

d) Textiles:

- cinturones
- redes
- velas
- cordeles

e) Polioli, un compuesto químico utilizado por los fabricantes de espuma de uretano para producir:

- tablas aislantes para techos y paredes
- muebles
- artículos deportivos como esquís y deslizadores
- amortiguadores de autos

f) Poliéster insaturado, usado para producir:

- tubos para baño
- lavabos
- albercas
- paneles exteriores para autos

g) Otros productos:

- tubos
- juguetes
- fregaderos
- bolsas para palos de golf
- señales
- portabotellas para leche
- portabotellas para bebidas suaves. (10,19,21)

III.5. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad no debe empezar cuando un consumidor rechaza un producto, sino que debe ser un proceso continuo que empieza cuando las materias primas son ordenadas y prosigue durante cada operación del proceso hasta que el producto es distribuido.

En realidad, el control de calidad para la fabricación de envases plásticos empieza antes, con el diseño del producto, de los moldes, con las características de la maquinaria, con las tolerancias para el desmoldado y terminado del producto, etc.: estos son algunos de los factores típicos que deciden el tipo de pruebas y ensayos que deben realizarse para asegurar la calidad del producto y que además influyen en el costo del mismo.

Antes de empezar el diseño de los moldes para producir el producto, debe existir una lista de las pruebas a realizar para el control de calidad aceptadas tanto por el consumidor como por el cliente involucrado. Las condiciones óptimas de operación se determinan mediante corridas de prueba que son anotadas en un reporte. Las botellas así producidas se prueban de acuerdo a la lista previamente establecida. La producción posterior, puede ser controlada por una inspección de las especificaciones de las botellas al principio, a la mitad y al final de cada turno. Se debe hacer una revisión visual de la apariencia y funcionabilidad de las botellas en el cuello, cuerpo y base cada 20 minutos. Al iniciarse cada turno, se debe verificar que la maquinaria se encuentre dentro de las especificaciones de operación y revisar cada dos horas que el material alimentado a la máquina sea el

especificado en virgen y recuperado, en caso de usarse. A partir de la segunda semana de estar produciendo botellas con estas condiciones de operación, y realizando los pasos anteriores, se hará una inspección adicional en las botellas en tarima.

El control de calidad involucra la inspección de los componentes o partes a medida que completan las diferentes fases de manufactura; las partes dentro de las especificaciones continúan el proceso y las que no lo están, son recicladas. Los operadores que producen las partes defectuosas son notificados y deben corregir los errores.

Las propiedades de los plásticos dependen directamente de la temperatura, el tiempo y las condiciones ambientales. Estas condiciones pueden relacionarse con el funcionamiento y/o desempeño de la materia prima, del proceso y del producto terminado. Esta correlación provee las bases para plantear procesos de control de calidad lógicos; desafortunadamente, no existe un sólo grupo de reglas que designe cuales son las pruebas y ensayos que se deban aplicar para obtener repetidamente un producto con cero defectos. La complejidad de las pruebas depende de las especificaciones deseadas por el consumidor o cliente. En la ausencia de métodos de prueba estándar, los consumidores finales (8,10,26) pueden desarrollar sus propias especificaciones y pruebas.

En México, las principales normas y especificaciones que rigen el control de calidad de los envases plásticos son las pertenecientes a la Dirección General del Normas (DGN) de la SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial), las de la

American Society for Testing and Materials (ASTM), las de la ISO y las de la Society of Plastics Industry (SPI), sin contar las industrias que utilizan sus propias normas y estándares.

Las pruebas mencionadas a continuación proveen un marco general de trabajo para aplicarse a diferentes productos:

- a) Resistencia a la tracción
- b) Resistencia a la compresión
- c) Resistencia al impacto
- d) Dureza
- e) Temperatura de deflexión
- f) Carga térmica permanente admisible
- g) Conductividad térmica
- h) Absorción de agua
- i) Resistencia a la interperie

Todas estas pruebas y otras más se mencionaron en el capítulo II, además en los Apéndices de este trabajo, se describen los procedimientos para realizarlas, de acuerdo a las especificaciones de la ASTM.

Otras pruebas de utilidad son las siguientes:

- 1) Dirección General de Normas (DGN)
 - a) NOM EE 58 Acondicionamiento para pruebas
 - b) NOM EE 76 Especificaciones para pasos de rosca para cuellos de envases
 - c) NOM EE 79 Especificaciones para botellas cilíndricas estándar de PEAD.

- d) NOM EE 106 Métodos de prueba para contenedores plásticos
- e) NOM EE 118 Determinación de la permeabilidad de botellas

2) ISO

- a) TC 122 150 2224 Prueba de capacidad de derrame (plano inclinado u horizontal)
- b) TC 122 150 2872 Prueba de compresión
- c) TC 122 150 2873 Prueba de permeabilidad
- d) TC 122 150 2874 Prueba de almacenamiento usando un medidor de compresión

3) Plastic Bottle Institute (SPI)

- a) 106 08 560 10 Métodos para determinar la pérdida de carbonatación en contenedores plásticos de bebidas
- b) 106 08 560 12 Pruebas para determinar la efectividad del cierre
- c) 106 08 560 18 Medición de la perpendicularidad de la botella (vacía)
- d) 106 08 560 22 Medición de la capacidad de la botella

Estas pruebas no son en si concluyentes, sino que son más bien medios para extraer conocimientos sobre los materiales. La mayoría de las plantas de producción cuentan con laboratorios para pruebas de control de calidad rutinarias, y otras pruebas similares se llevan a cabo para investigación; ambos tipos de pruebas caracterizan a los materiales y sirven como referencia para el mejoramiento de los programas de control de calidad. (10,31)

C A P I T U L O I V

ELEMENTOS DE CIERRE PARA ENVASES PLASTICOS

IV.1. GENERALIDADES

El cierre de un envase es uno de sus componentes más importantes. Tan sólo con este elemento resulta un envase completo. Sus misiones son múltiples, entre ellas están:

- a) Evitar un derrame incontrolado de la mercancía.
- b) Encargarse de la función de apertura y muchas veces también de volver a cerrar el envase.
- c) Garantizar protección frente a influencias de transporte, entrada de humedad, cambios de temperatura, etc.
- d) Estar en condiciones de cumplir las exigencias impuestas sobre el envase en cuanto a presión, calor, movimiento, choques y golpes.

Existe una gran variedad de posibilidades de cierre para los envases de plástico. El número de construcciones propuestas en derechos de patentes y modelos de utilidad, superan varias veces el (3,10) de los empleados en la práctica.

Un cierre normalizado o estándar puede abrirse y cerrarse un número ilimitado de veces. Se cuentan entre ellos los cierres de presión, tracción y desplazamiento, como taponés, caperuzas y cierres roscados.

Los cierres con garantía son aquellos que, tras la primera apertura, no pueden cerrarse de nuevo. Se cuentan en este grupo

todos los cierres pegados, sellados, soldados, así como los tapones corona "pilferproof" (de pilfer=hurtar y proof=seguridad), las tapas enrolladas, etc.

Las tapas pegadas llevan en la superficie a unir una película adhesiva, aplicada sólo a una cara o a ambas superficies de unión. En el caso de los plásticos, esta película es autoadhesiva. El pegado se efectúa en frío.

Por sellado en caliente se entiende la unión de materiales termoplásticos - por lo general en capas - mediante la acción de presión y calor, sin plastificar los soportes de las capas termoplásticas. Las uniones selladas se obtienen con ayuda de masas adhesivas activables por métodos térmicos (laca de sellado) cuya composición varía con las diversas piezas a unir entre sí.

También existe la posibilidad de no emplear ningún elemento de cierre propiamente dicho, sino de soldar el cuello del envase. Este tipo de cierre es económico y hermético, pero exige una herramienta adicional (cuchillo o tijeras) para la apertura, y no puede cerrarse de nuevo.

Para la soldadura, se precisa el reblandecimiento del plástico hasta el intervalo termoplástico, en donde las moléculas pueden cambiar de posición. Bajo la presión de soldadura se forma una unión del mismo tipo que la existente en el material de ambas piezas; esto significa que se obtiene una masa homogénea con moléculas encadenadas entre sí.

El proceso de soldadura se efectúa por calentamiento en corriente de aire, por calor de rozamiento, por impulsos térmicos.

por contacto térmico, por energía de alta frecuencia y por acción del ultrasonido.

La soldadura en corriente de gas caliente no es usual en la industria del embalaje.

La soldadura por frotamiento se usa sobre todo en la aplicación de fondos a los botes. Las dos piezas a unir giran una contra la otra hasta que el calor de frotamiento las funde y pueden ser soldadas por medio de una ligera presión.

La principal diferencia entre la soldadura por impulso térmico y por contacto térmico es que en la primera, el punto de soldadura se mantiene bajo presión al suprimir los impulsos, hasta que se produce el enfriamiento y la consolidación. En el segundo caso, la soldadura se abre en estado todavía caliente, con lo que puede producirse una deformación de la soldadura.

En la soldadura por alta frecuencia, la temperatura máxima se sitúa exactamente en el punto de contacto de ambas piezas a unir. Se origina por las fuerzas producidas al orientar las moléculas. La resistencia que actúa contra el paso de la alta frecuencia se conoce como factor de pérdida o de disipación, $FP = (\tan \delta \times \epsilon)$, donde ϵ = constante dieléctrica del material y $\tan \delta$ = es el ángulo de pérdida obtenido de un diagrama vectorial corriente (I) contra voltaje (E), del circuito que contiene al material dieléctrico. Cuanto mayor sea dicho valor, tanto mejor será la capacidad de soldadura. El valor mínimo es $\approx 10^{-2}$. El PCV tiene ese valor, por lo que puede soldarse por alta frecuencia. Las poliolefinas, en cambio, tienen un valor de 10^{-4} , por lo que no hay posibilidad de

soldarlas con alta frecuencia.

En la soldadura por ultrasonido, las oscilaciones de alta frecuencia (≈ 20 KHz) originan en el punto de unión una oscilación molecular de igual magnitud, que a su vez produce calor y contribuye al entrelazamiento de las moléculas. (3)

IV.2. CIERRES PARA VASOS

El tipo de cierre de los envases tipo vaso depende de la mercancía, de su consistencia y de las exigencias impuestas por la misma mercancía sobre la calidad del cierre. Se clasifican según los siguientes puntos de vista:

- a) Aptitud para el cierre: fácil o difícil.
- b) Posibilidad de apertura: fácil o difícil.
- c) Cierre de garantía para primera apertura: si - no.
- d) Posibilidad de nuevo cierre: si - no.
- e) Hermeticidad: totalmente hermético o transpirante.

Tanto los vasos como las tapas tienen formas especiales según las misiones del cierre. La figura 14 representa las secciones de algunos de los perfiles más importantes para vasos.

Puede verse, de izquierda a derecha;

- 1) Perfil con cordón superior.
- 2) Perfil plano.
- 3) Perfil con cordón y resalte. (Apilable)
- 4) Perfil plano con resalte. (Apilable)
- 5) Perfil en ángulo recto con resalte. (Apilable)
- 6) Perfil con ángulo y resalte. (Apilable)

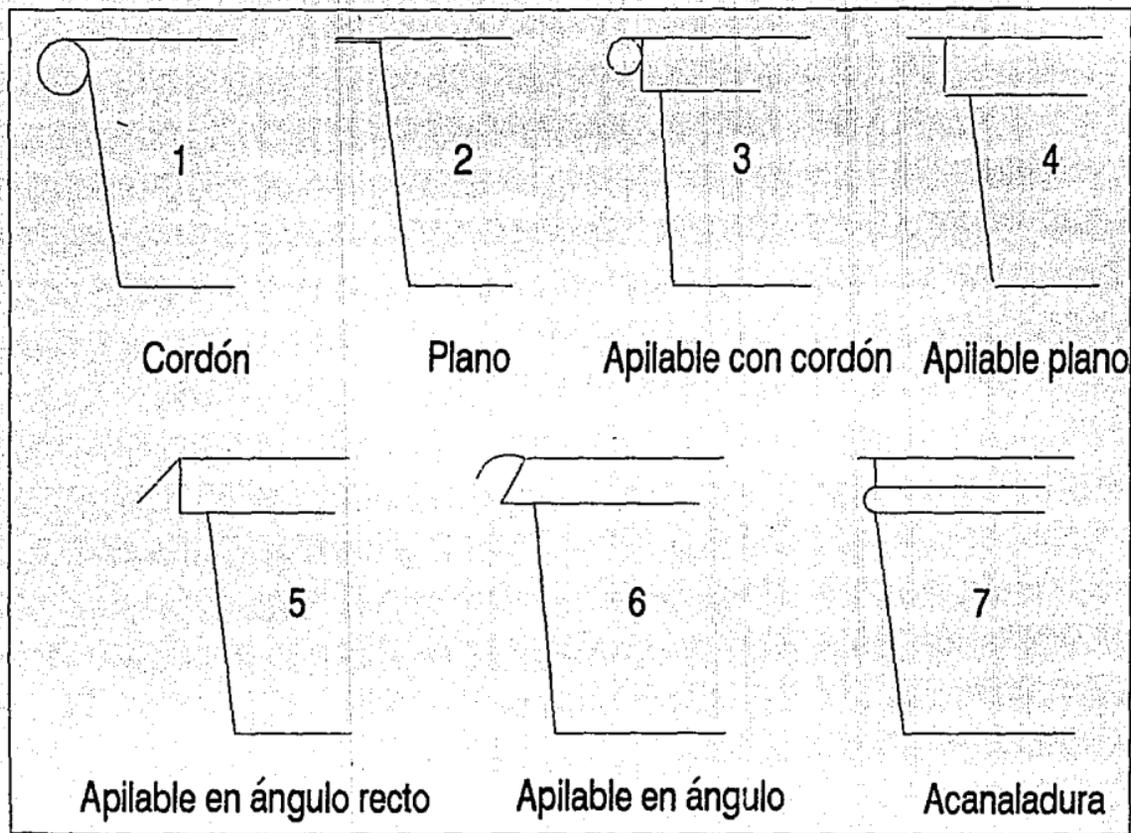


FIGURA 14. Perfiles para bordes de vasos

7) Perfil con acanaladura.

Las formas 1 y 3 corresponden a tapas a presión. las formas 2 y 4, con borde plano, se usan cuando se quiere cerrar con tapas selladas o soldadas. Las formas 5 y 6 son comunes para tapas a presión fabricadas por embutimiento profundo. La forma 7 se usa sobre todo para tapas a presión en cartón. (3)

IV.3. CIERRES PARA BOTELLAS Y CUERPOS HUECOS

Hay que distinguir entre:

- a) Cierres normalizados o estándar.
- b) Cierres soldados y aplicables sólo a botellas y tubos de plástico.
- c) Cierres enrollados y caperuzas para recipientes de cuello ancho.

IV.3.1. CIERRES NORMALIZADOS O ESTANDAR

En la industria de la alimentación se usan desde hace mucho los cierres rebordeados y a presión para botellas de vidrio y latas metálicas. Se consideran cierres con garantía de origen, incluso cuando exista la posibilidad de colocar de nuevo el tapón mediante un simple dispositivo presor: los diversos elementos de cierre son:

- a) Tapones corona en ejecución normal, con oreja de desgarre y de palanca.
- b) Caperuzas de plástico.
- c) Cierres "pilferproof".

Para que estos elementos se pudieran usar en botellas de

plástico, se tuvo que hacer una adaptación al perfil del cuello de la botella, disponiendo anillos de apoyo por debajo de la abertura superior, debido a que las botellas de vidrio resisten sin dificultad la presión de colocación del tapón, pero no así las botellas de plástico. En la figura 15 se muestra esta modificación.

IV.3.2. CIERRES BOLDADOS APLICABLES SOLAMENTE A BOTELLAS Y TUBOS DE PLASTICO

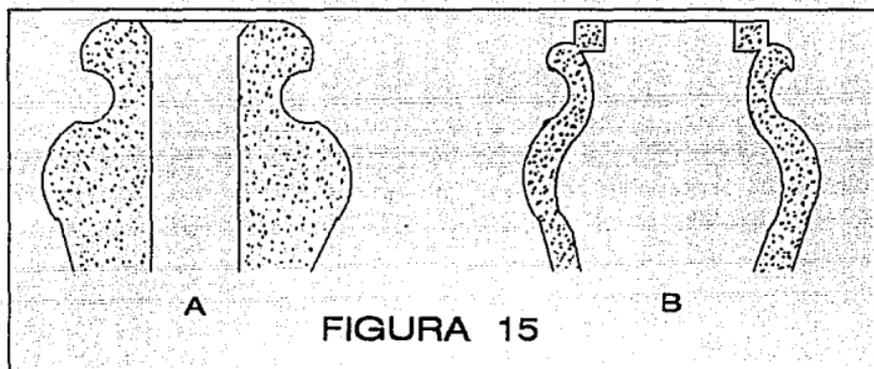
Estos cierres son todos ellos precintos de garantía, que permiten una sola operación de cierre. Proceden del cuello de la botella, prolongado en forma de manguera, que se aplasta o se suelda. El proceso de aplastado se realiza sobre todo en las instalaciones de soplado, envasado y cierre, donde se aprovecha el calor permanente todavía en el material tras el moldeo, como en el caso del PE duro y blando.

IV.3.3. CIERRES ENROLLADOS Y CAPERUZAS PARA RECIPIENTES DE CUELLO ANCHO

Los recipientes soplados de cuello ancho pueden considerarse como botellas o bien como botes.

Un tipo de cierres para botes de aceite de máquinas en PEs es la tapa de chapa de acero enrollada; para esto hay que ensanchar cónicamente hacia afuera la sección de la boca del recipiente, tal como se muestra en la figura 16. La tapa metálica está preconformada para el doblado previsto, y así se origina un envase totalmente hermético, que refuerza la sección del bote.

Las películas de plástico o plástico-metal son cierres de



Comparación de las bocas de:

(A) Botella de vidrio

(B) Botella de plástico

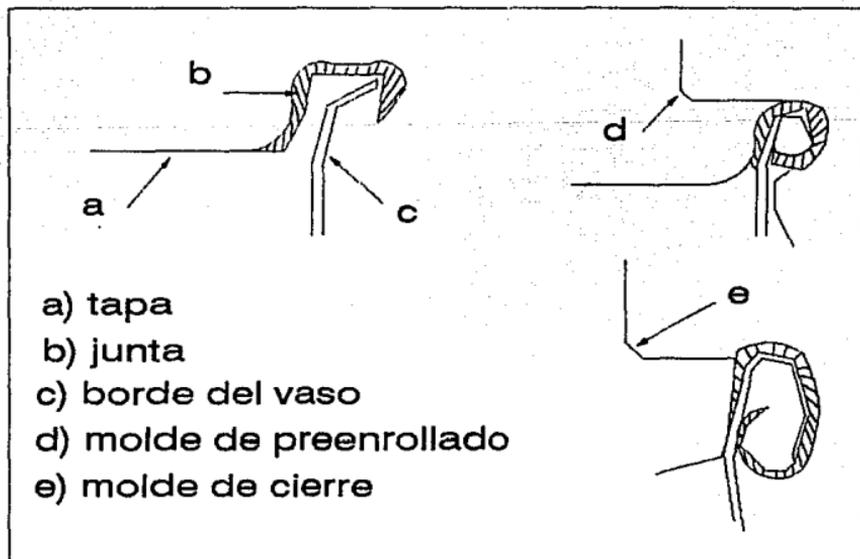


FIGURA 16. Enrollado de una tapa

garantía aplicadas por pegado firme, sellado o soldado sobre las bocas de botellas o recipientes de cuello ancho. La elección del procedimiento depende del material y de la mercancía envasada. Como ejemplo podemos citar el envasado del café instantáneo, en el que la cáperuza roscada protege tanto la película como la mercancía (3,10) y sirve para el posterior cierre del envase.

IV.4. ELEMENTOS DE CIERRE FABRICADOS EN PLASTICO

Los cierres de plástico son moldeados principalmente con termoplásticos (moldeo por inyección) y termofijos (moldeo por compresión). Los cierres moldeados con termoplásticos son principalmente de polietileno, poliestireno y polipropileno. Estas 3 resinas abarcan el 90% o más en la producción de dichos cierres. Otros materiales son los copolímeros de estireno acrilonitrilo (SAN) y ABS, que son básicamente parte de la familia del poliestireno y son usadas para requerimientos especiales, tales como claridad, resistencia a la ruptura, compatibilidad con el producto, y para ser galvanizados o metalizados.

Los cierres de plástico no rígido tienen muchas ventajas sobre los cierres moldeados con termofijos, tales como diseño del cierre, especificaciones del mismo y otras.

Los cierres o tapas han tenido gran demanda no sólo en el empaque de cosméticos, medicinas y productos de uso doméstico, sino que también figuran prominentemente en el empaque de licores y otros productos destilados. En los últimos años, han empezado a dominar el campo del café instantáneo, entre otros.

Los materiales termofijos producen partes extremadamente duras y rígidas con excelente estabilidad dimensional y resistencia química. Los termofijos para cierres - ureas y fenólicos - se usaron por primera vez a principios de este siglo, y se siguen usando debido a su resistencia química. Estos cierres también aceptan ser metalizados con plata u oro, y presentan cualidades de adhesión superiores.

Para una producción económica, la mayoría de los cierres moldeados en termofijos son de formas simples, de lados planos o ligeramente curvos. (9,10,11)

La cantidad de distintos elementos de cierre fabricados en plástico para botellas, tubos, tubitos, bidones y recipientes de cuello ancho, alcanza varios centenares. La selección puede efectuarse considerando el tipo de fijación, la junta, las necesidades del proceso de llenado, los métodos de cierre y otras exigencias.

Según el tipo de fijación, puede distinguirse entre:

- a) Cierre a presión con retención.
- b) Cierre embutido y tapones.
- c) Cierres roscados.

IV.4.1. CIERRES CON RETENCION

Los cierres con retención están configurados como una caperuza que se fija sobre el borde del recipiente. La junta se efectúa sobre todo en la superficie lateral y junto al reborde. Una de las ejecuciones más conocidas es la caperuza de PEs para botellas de

bebida, que pueden cerrarse de nuevo. Como seguridad ante una eventual pérdida, puede poseer un lazo, como se muestra en la figura 17. El asiento de los cierres con retención está determinado por las fuerzas que se originan entre los contraperfiles del recipiente y del elemento de cierre. Estas se componen de una fuerza radial originada por el ensanchamiento sufrido y de la fuerza axial que procede de la presión entre las superficies de la junta.

En la figura 18 se representan las secciones de los cierres con retención que poseen una junta adicional en el interior de la boca del recipiente. En esta ejecución, el asiento no sólo queda determinado por el contraperfil del reborde exterior, sino que se producen también funciones tensoras entre la pared del recipiente y el perfil del cierre.

Estas formas de caperuza se emplean sobre todo en recipientes cuyo espesor de pared de la boca es menor que el de la botella. Además son apropiados para recipientes de gran diámetro de boca, como tubos y pulverizadores para polvos.

Mediante la colocación de un anillo tensor, puede conseguirse un seguro adicional de cierre.
(3,10)

IV.4.2. CIERRES ÉMBUTIDOS Y TAPONES

Los cierres embutidos o tapones utilizan como elemento de junta la parte interior calibrada de la boca del recipiente. La parte sobresaliente puede emplearse secundariamente, junto con el borde superior de la boca, para construir una junta. La

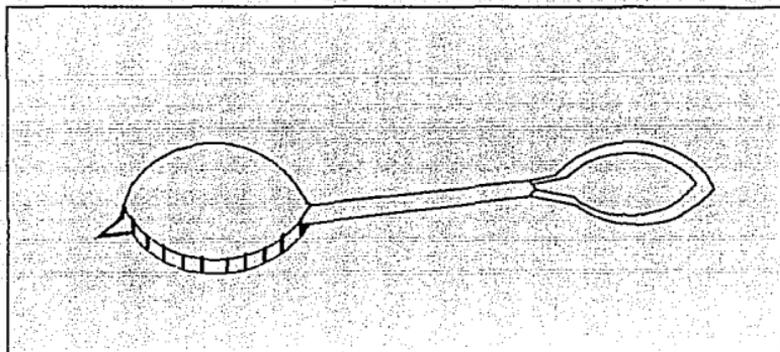


FIGURA 17. Caperuza de PEs, con anillo de seguridad

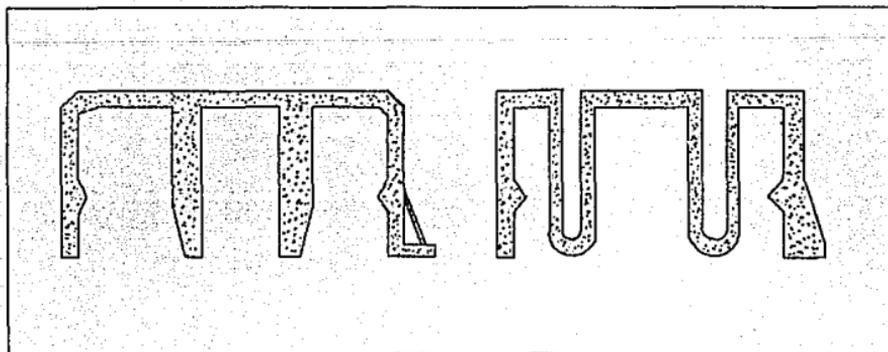


FIGURA 18. Secciones de cierre con retención

estanquidad se consigue dando a las paredes del tapón forma de oliva, como muestra la figura 19. La presión necesaria para comprimir la oliva contra la superficie interna de la boca proporciona el asiento firme del cierre. La presión depende de la fuerza de recuperación del material deformado en la sección más estrecha del cuello. Otro factor para la calidad de la junta y del asiento de un tapón, es la longitud de la superficie de la junta.

La elaboración de tales tapones con la moderna maquinaria rápida de cierre, impone grandes exigencias a las propiedades de deslizamiento de la materia prima. Los tapones sencillos tienden a colocarse sobre un canto, no en forma centrada. Esto se evita cuando el tapón lleva un borde adicional de centraje.

Además de la misión de elemento de junta y cierre, los cierres embutidos pueden encargarse también de limitar el movimiento de la mercancía cuando llevan distanciadores acoplados. Estos distanciadores se configuran en forma de pies rígidos, en forma de cestitos semirígidos y en forma de muelle espiral plástico. Pueden estar firmemente unidos al tapón o colocados en forma adicional como elementos sueltos, tal como se muestra en la figura 20. (3.10)

IV.4.3. CIERRES ROSCADOS

El número de variantes de cierres roscados para botellas, bidones, tubos y recipientes de cuello ancho es enorme, y toda industria tiene mano libre para la elección de su rosca. Las formas corrientes son las roscas redondas y en forma de sierra, representadas en la figura 21.

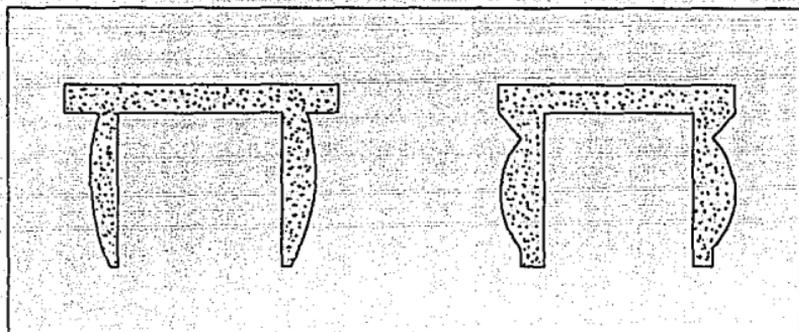


FIGURA 19. Tapones con lateral en forma de oliva.

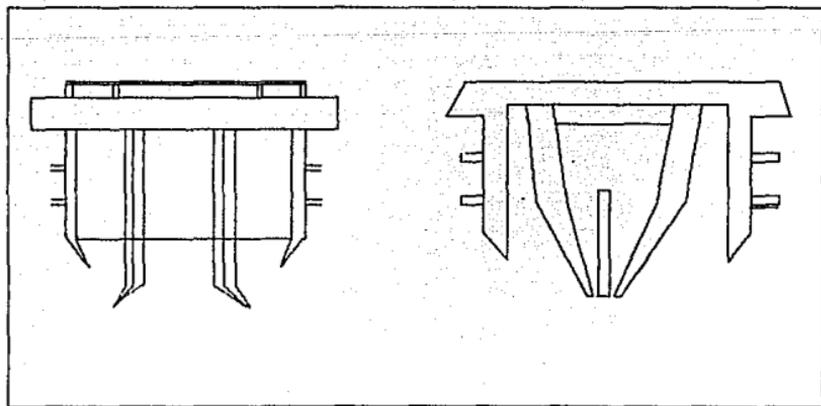


FIGURA 20. Tapones con distanciadores

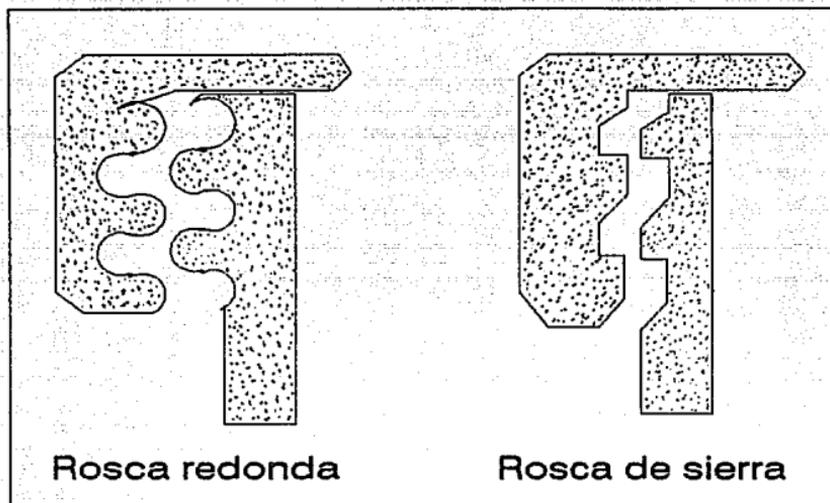


FIGURA 21. Formas de rosca para caperuzas de cierre

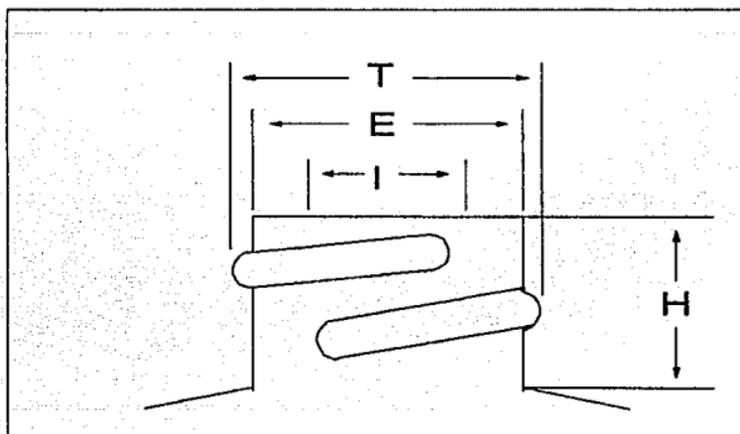


FIGURA 22. Rosca con un sólo paso

En los cuerpos soplados, los pasos de rosca en la zona de la línea de separación del molde pueden resultar defectuosos y causar problemas en el roscado de la tapa; para evitar esto, se parten las roscas en medios pasos, de forma que en cada mitad del molde, las roscas llegan tan sólo a unos pocos milímetros de la línea de separación. En estos casos, es indispensable disponer como mínimo de 2, o mejor de 3 pasos. La figura 22 muestra este tipo de rosca, junto con los elementos que constituyen el cuello de la botella, que son los siguientes:

- a) Diámetro sobre la cuerda "T",
- b) Diámetro bajo la cuerda "E",
- c) Diámetro interior "I",
- d) Altura del cuello "H".

Los cierres roscados con garantía de origen pueden concabirse en forma semejante a las caperuzas "pilferproof", de modo que al pasar el roscado se haga pasar un anillo tras un reborde, en donde no pueda retroceder. Este anillo queda en el cuello de la botella al efectuar la primera apertura y dispone de una zona de rotura controlada, consistente en una línea de puntos perforados alrededor de todo el perímetro del cuello de la botella, mientras la caperuza que se separa puede usarse de nuevo para cerrar el envase.

Las formas y perfiles se hacen más complicados para la fabricación de cierres con pico. En general se emplean para botellas de productos de farmacia o cosméticos, por lo que se les da la forma adaptada al conjunto del envase. El pico se suministra

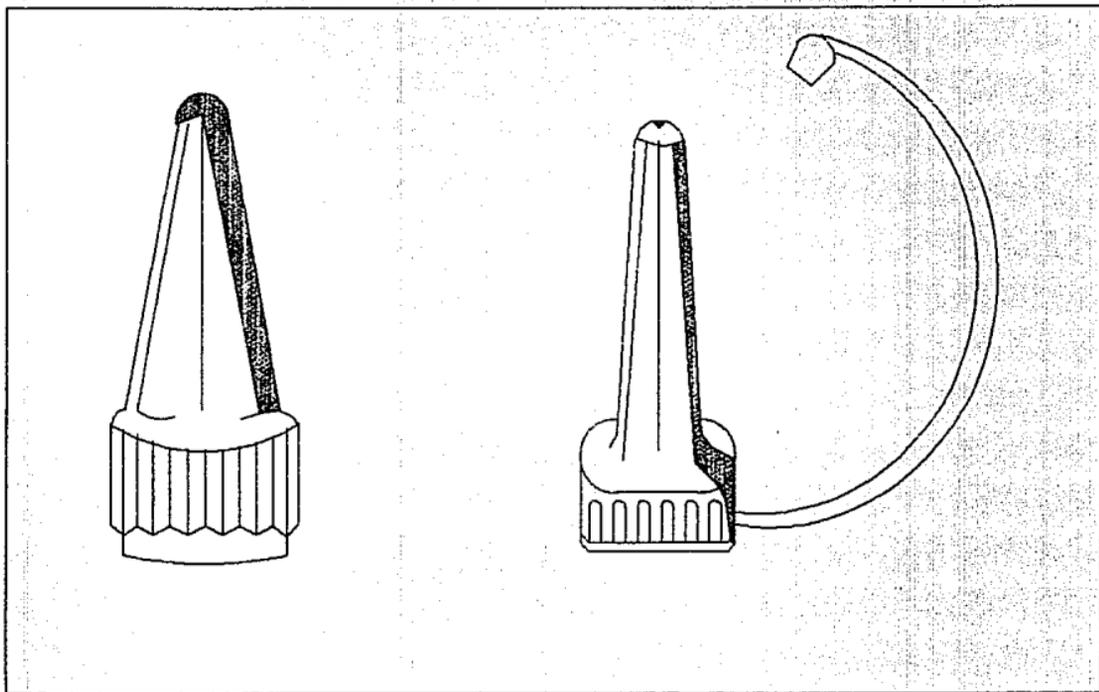


FIGURA 23. Formas de cierre con picos

siempre en estado cerrado. Puede cerrarse también mediante una caperuza adicional, como la mostrada en la figura 23. La longitud del pico depende de la finalidad de la aplicación. Son similares los picos para tubos y los accitadores, que pueden estar constituidos por una sola pieza inyectada, o compuestas por dos o tres piezas.

(3,10)

C A P I T U L O V

BENEFICIOS A TRAVES DE LOS AVANCES TECNOLOGICOS

V.1. MERCADO DE LOS PRODUCTOS PLASTICOS MOLDEADOS

El moldeo por soplado sigue siendo uno de los segmentos del mercado de la industria plástica con un mayor crecimiento, consumiendo actualmente alrededor del 10% de todos los plásticos. La industria del plástico es una de las industrias mundiales con el crecimiento más rápido y se considera como una de las pocas industrias de billones de dólares. En las figuras 24 y 25 se muestra el consumo mundial de los plásticos en cuanto a volumen y peso. (25,29)

Los mercados más importantes para los plásticos en orden de tamaño son:

- Embalado y empackado (30% del consumo total de los plásticos)
- Construcción (20% del consumo total de los plásticos)
- Electrica/Electrónica (6.5% del consumo total)
- Transporte (6% del consumo total)
- Varios (37.5% del consumo total)

Del total de 22.7×10^6 toneladas métricas de plásticos producidos en E.U.A durante 1989, por lo menos 2.3×10^6 toneladas métricas se destinaron a distintos productos moldeados. En este mercado, se esperan crecimientos anuales de entre el 6 y el 12%. La distribución de consumo según el tipo de plástico es: PEAD y otras poliolefinas: 65%; PTE: 22%; PCV: 6%; PP: 4%; PEBA: 2%; otros: 1%.

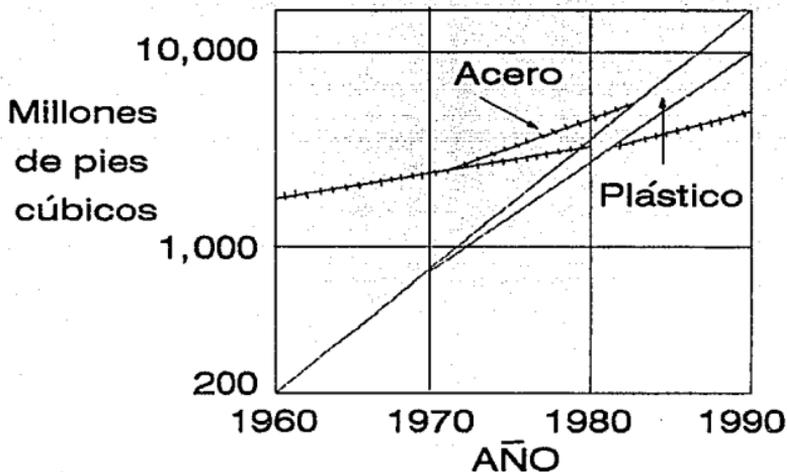


FIGURA 24. Consumo mundial de plásticos por volumen

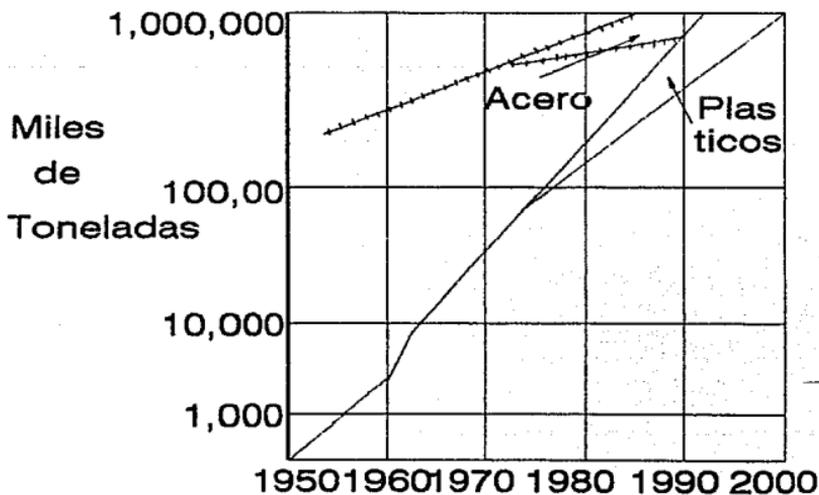


FIGURA 25. Consumo mundial de plásticos por peso

En la tabla 6 y la figura 26 se muestran el crecimiento en la producción del PEAD y la demanda para el PTE hasta 1991, respectivamente. (24,29)

En cuanto a la situación nacional, en 1991, se produjeron 1.11×10^6 toneladas de plástico destinadas a envases y empaques. La distribución de consumo aparente según el tipo de plástico es: PEBD: 351 975 toneladas; PEAD: 250 049 toneladas; PCV: 147 305 toneladas; PP: 138 891 toneladas; PEs: 128 733 toneladas; PTE: 11 836 toneladas.

La tabla 7 muestra los datos de producción, importación, exportación y capacidad instalada de los principales plásticos utilizados en México para envases y empaques de 1986 a 1991.

En México, al igual que en la mayoría de los demás países, se observa una tendencia ascendente en la producción de plásticos; así mismo, en los últimos años se ha incrementado el volumen de exportación de envases y empaques plásticos. Estas exportaciones tienen un volumen mínimo si se comparan con las de E.U.A, sin embargo, en el futuro, con el aumento tanto en la capacidad instalada como en el volumen de producción, la apertura de nuevos mercados, así como la utilización de un control de calidad basado en normas y especificaciones internacionales, es muy posible que nuestro país tenga mayor competitividad a nivel mundial en lo que a envases y empaques plásticos se refiere. (32)

Algunos de los aspectos a considerar para que un cuerpo hueco moldeado en plástico sea comercialmente disponible y tenga éxito en el mercado como sustituto de un envase de metal o de vidrio son los

	1985	1988	1990
Moldeo por soplado	1 316 600	1 589 000	1 816 000
Extrusión	635 600	726 400	862 600
Moldeo por inyección	635 600	726 400	817 200
Exportación	408 600	408 600	408 600
Otros	272 400	317 800	363 200
(Toneladas métricas)			

TABLA 6. Consumo de Polietileno (PEAD)

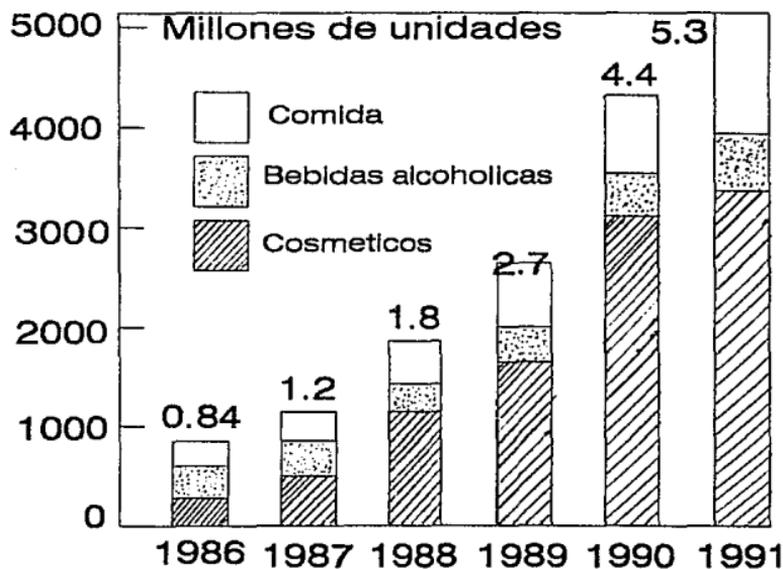


FIGURA 26. Consumo de PTE

PCV	1986	1987	1988	1989	1990	1991	PEBD	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Producción	264 806	283 745	272 666	287 536	309 201	375 008	Producción	242 166	256 836	317 101	340 101	347 803	337 211
Importación	4 150	4 251	5 977	12 565	11 500	14 776	Importación	84 251	200 550	21 302	34 380	24 805	33 525
Exportación	148 186	161 004	148 887	151 699	170 074	242 479	Exportación	0	15 282	0	46	27 706	18 828
Consumo ap	120 770	126 992	129 756	148 402	150 627	147 305	Consumo ap	326 417	262 104	338 403	379 432	345 532	351 975
Cap. inst.	301 500	306 000	308 000	308 000	308 000	398 000	Cap. inst.	309 000	309 000	309 000	309 000	309 000	309 000
PTE	1986	1987	1988	1989	1990	1991	PP	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Producción	11 000	15 672	18 083	14 853	16 092	17 645	Producción	0	0	0	0	0	36 045
Importación	170	2	34	81	80	188	Importación	93 159	115 984	111 670	131 238	147 729	145 842
Exportación	5 076	10 573	12 450	6694	11 036	5997	Exportación	0	0	0	0	0	3896
Consumo ap.	6 094	5 101	5 678	8240	5 136	11 836	Consumo ap.	93 159	115 984	111 670	130 006	147 729	138 891
Cap. inst.	17 100	17 100	17 100	17 100	24 500	24 500	Cap. inst.	0	0	0	0	0	100 000
PEAD	1986	1987	1988	1989	1990	1991	PEs	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Producción	64 075	75 992	81 717	97 134	175 674	212 764	Producción	110 521	126 152	125 538	124 703	132 444	137 748
Importación	95 284	68 082	75 995	112 414	105 767	112 340	Importación	5 849	4 357	9 282	14 653	15 731	22 000
Exportación	0	9 597	448	380	54 949	75 055	Exportación	18 132	38 753	47 395	36 059	35 244	31 013
Consumo ap.	164 359	134 477	157 214	209 169	226 492	250 050	Consumo ap.	98 238	91 756	87 415	103 287	112 932	126 733
Cap. inst.	100 000	100 000	100 000	150 000	200 000	200 000	Cap. inst.	163 400	167 000	185 500	199 700	199 700	219 700

TABLA 7. Producción (Ton) de plásticos para envase y empaque en México

siguientes:

a) Limitaciones técnicas: Por ejemplo, los contenedores plásticos de barrera deben soportar altas presiones y temperaturas para poder ser llenados en caliente, puesto que muchos plásticos no soportan las altas temperaturas, es necesario desarrollar nuevas técnicas de procesado, nuevas formulaciones, etc. Además, estos envases deben tener una vida en estantería de 6 meses a 2 años, por lo que actualmente es necesario cubrir tales deficiencias para tener acceso a otros mercados.

b) Legislación: Las legislaciones más importantes son con respecto al reciclado de los envases y a la necesidad de producir envases que tengan garantía en contra de falsificaciones, adulterado del contenido, etc.

c) Innovaciones en los empaques: Un claro ejemplo de la importancia de la innovación es el de las botellas "estrujables" para diversos alimentos, estas botellas son más ligeras y resistentes, por lo que han capturado el interés del público rápidamente. Otro ejemplo lo constituyen las botellas de PTE para refrescos.

d) Empaques aptos para usarse en el horno convencional: Este es otro campo que está ganando aceptación. Dichos empaques pueden soportar altas temperaturas y la comida no tiene que ser transferida a otro plato una vez cocinada, resultando convenientes para los consumidores.

e) Preferencias del consumidor: Las preferencias del consumidor no han cambiado radicalmente en los últimos años; sin

embargo, al final de cuentas, es el consumidor el que decide si un envase tiene éxito o no, por lo que los fabricantes deben introducir continuamente envases novedosos y útiles. En la tabla 8 se muestra la cantidad de envases de plástico y otros materiales utilizados en la última década. (10,29)

V.2. ENVASES DE PTE

El segundo sector más importante del moldeo por soplado son las botellas de PTE para refresco de 2 litros. La botella hace más que contener el líquido. Combina la seguridad, el peso ligero, libertad de diseño, conveniencia, color atractivo, multidecorado, etc.

El crecimiento va en aumento porque a la botella de 2 litros se le unió la de 1 lt y la de 1/2 lt. La botella de PTE es posiblemente, la botella del futuro, debido a su crecimiento, el método de manufactura y su impacto total en la industria de los envases. En la tabla 9 se muestra el consumo mundial de botellas de PTE a partir de su disponibilidad comercial.

Otro campo con bastantes posibilidades de desarrollo es el envasado de comida, este mercado se puede dividir en dos segmentos, los envases de cuello estrecho y los recipientes de boca ancha. Se considera un envase de boca ancha cuando el cuello es mayor de 40 mm; estos recipientes se pueden llenar en frío a temperaturas menores de 70°C, y pueden ser usados para los siguientes alimentos: yoghurt, mantequilla, mayonesa, café instantáneo, mermelada, frutas secas, dulces, azúcar, condimentos, mostaza, miel, etc.

	1983	1988	1993
Aluminio	58.08	68.87	74.30
Acero	34.32	26.42	18.56
Vidrio	42.12	39.91	35.64
Plásticos commodity	20.63	28.02	32.68
Plásticos de barrera	0.01	2.00	14.50
Papel/cartón	7.27	8.99	9.10
TOTAL	162.43	174.21	184.7

TABLA 8. Cantidad de envases producidos en la última década (billones de unidades)

Año	Consumo mundial (miles de Ton)
1980	193
1981	229
1982	292
1983	380
1984	460
1985	545
1986	620
1987	750
1990	880

TABLA 9. Consumo mundial de envases de PTE

Si la temperatura excede los 70°C, el cuello puede deformarse, dependiendo de la forma del cuello.

Algunas de las ventajas de estos recipientes son: precio equivalente al del vidrio pero con mucho menor peso, transparencia, buenas propiedades de barrera al CO₂, al O₂ y al agua, en comparación con otros plásticos, dureza, son químicamente inertes, pueden ser reciclado, no se corroen, pueden ser fácilmente decorados, etc.

Entre sus desventajas están: no es muy resistente a la abrasión, sólo se puede llenar a temperaturas menores de 70°C. no se pueden usar en pasteurización y esterilización, es caro comparado con los contenedores de poliestireno.

Otro campo en donde se usan envases de PTE es el de los cosméticos y los medicamentos; sin embargo, su empleo en envases de refresco seguirá siendo el dominante por el momento. (16,18,19,21)

V.3. BOTELLAS DE PTE RESISTENTES AL CALOR

Puesto que los envases soplados de PTE no pueden ser pasteurizados ni esterilizados ni llenados a una temperatura mayor de 70°C sin que pierdan sus propiedades características, es muy importante el desarrollo de una botella de PTE resistente al calor, para ampliar los mercados y posibilidades de uso de este material.

Las deformaciones del cuello debidas al calor disminuyen la utilidad de la botella y causa un problema de tapado al mismo tiempo. Por ejemplo, algunas botellas se llenan hasta el borde con el contenido muy caliente y se tapan. En este caso, la alta

temperatura del contenido reblandece el cuello y afecta la operación de tapado, la rosca y el sello de garantía.

Hay varias formas para hacer el cuello resistente al calor:

- 1) Incrementando la cristalinidad del cuello entero.
- 2) Moldeando el cuello con policarbonato u otra resina resistente al calor, o moldear un cuello de dos capas resistente al calor, con lo que la botella de PTE forma parte integral de dicho cuello.
- 3) Moldear el cuello por medio del moldeo con estirado y cristalizarlo al mismo tiempo para hacerlo resistente al calor.

El primer método tiene la desventaja de que al cristalizarse el cuello, se torna amarillento con el tiempo, con lo que arruina la clara transparencia de la botella, también, con la cristalización, encoge mucho la cuerda de la rosca, y esto causa problemas de cierre, afectando la economía y la productividad. El tercer método afecta en forma importante el acabado preciso del cuello y por lo tanto de la rosca, con las mismas consecuencias arriba mencionadas.

El segundo método fue el que permitió desarrollar esta técnica. El policarbonato y el PTE son compatibles, los productos de policarbonato se deforman a temperaturas de 130 a 140°C, y su punto de fusión es casi igual al del PTE, y sus productos son higiénicos y completamente transparentes.

El primer método desarrollado para producir botellas de PET resistentes al calor se realiza en una máquina estándar de

moldeo marca ABS, se describe a continuación y se muestra en la figura 27.

- a) Se moldean por inyección una gran cantidad de "chips" de PC para ser insertados.
- b) Se colocan los chips en la máquina automática de inserción.
- c) En la cuarta estación de la máquina, se abren los moldes para expulsar la botella.
- d) El chip de PC se inserta en el molde y se posiciona correctamente.
- e) Se cierran los moldes.
- f) La resina fundida de PTE es inyectada dentro del molde para integrarse al PC y formar el cuello.
- g) La botella es soplada a temperatura controlada.
- h) Se repite el proceso.

El segundo método para solucionar el mismo problema, se realiza con una máquina ABS para moldeo de doble capa. Con este método, no se requiere una máquina insertadora, pues el cuello se moldea con dos capas, la de PTE en el interior y la de PC en el exterior. La figura 28 muestra este proceso.

- a) En la primera estación, se moldean por inyección las roscas de PC, cada una con un peso de 2 g.
- b) Se abre el molde.
- c) El molde se mueve a la segunda estación y se le inyecta el PTE fundido, para producir una botella con cuello de doble capa.
- d) Se sopla la botella controlando la temperatura.

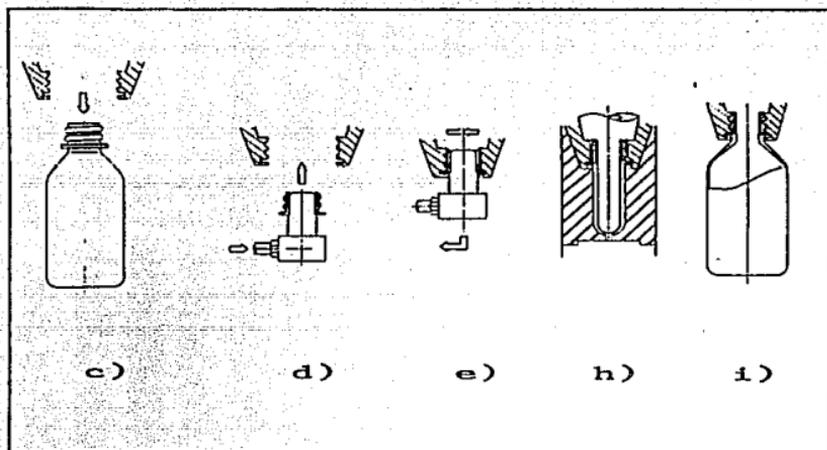


FIGURA 27. Método No. 1 para moldear botellas resistentes al calor

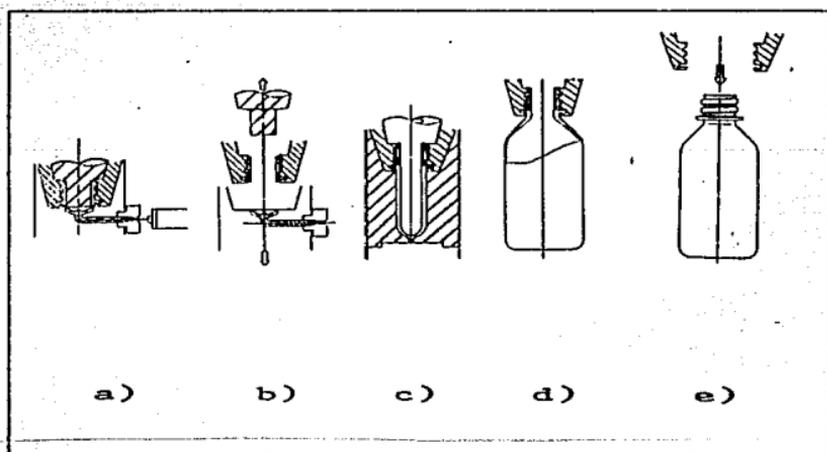


FIGURA 28. Método No. 2 para moldear botellas resistentes al calor

e) La botella es expulsada.

f) Se repite el proceso.

Con estos métodos se intentan eliminar las limitaciones al uso del PTE y pueda usarse para botellas que deban llenarse en caliente, pasteurizarse y esterilizarse. (19,27,28)

V.4. RECIPIENTES MULTICAPAS

Los requerimientos que las barreras deben cumplir para satisfacer las necesidades de envasado varían dependiendo del producto. Las propiedades que se quieran excluir o retener pueden ser gases, vapor de agua, aromas, sabores, solvente, etc. Adicionalmente, cada envase con barrera debe responder a las especificaciones de las técnicas de procesado y sistemas de distribución.

Debe hacerse notar que muchos alimentos sensibles al oxígeno deben ser llenados en caliente, por lo que los contenedores deben tener propiedades tanto térmicas como de barrera.

Existen tres maneras con las que se puede incrementar las propiedades de barrera de los contenedores de plástico rígido, y son las siguientes:

a) Mono-capas: El desarrollo de resinas de barrera que puedan ser usadas en contenedores de mono-capa para envasar alimentos sensibles al oxígeno no ha sido, hasta ahora, comercialmente exitoso, puesto que aparte de no cumplir con las propiedades necesarias, son demasiado caras, por lo tanto, se han hecho muy pocos avances en este campo.

b) Cubiertas: El concepto de cubrir un polímero para mejorar sus propiedades de barrera no es nuevo. Algunos de los primeros (y todavía usados) envases flexibles de barrera son los celofanes cubiertos con polidicloruro de vinilideno (PDCV), poliéster o polipropileno orientado. Actualmente, este proceso se considera como el método más barato para mejorar las propiedades de barrera de los contenedores de monocapa.

c) Multicapas: Es el método usado para obtener buenas propiedades de barrera. Los principales aspectos a considerar cuando se desarrolla una barrera multicapa es el tipo de material a usar y que tecnología se debe emplear.

El moldeo de cuerpos huecos multicapas está experimentando un crecimiento a nivel mundial, pues las ventajas de estas botellas son obvias:

- excelentes propiedades de barrera contra gases como nitrógeno, dióxido de carbono y aire, así como al vapor de agua (alimentos, fármacos).

- resistencia a la transmisión de aromas (cosméticos)
- resistencia a los rayos UV (reactivos químicos, fármacos)
- mayor resistencia (mejor almacenamiento)
- peso ligero (menor costo de transporte)
- resistencia al rayado, facilidad para impresión (cosméticos)
- resistencia a medios agresivos (herbicidas, insecticidas)
- prevención de electricidad estática (protección contra explosiones)

(10, 14, 18)

~~barrera a los solventes (pinturas industriales)~~

V.4.1. TIPOS DE BARRERAS

Los materiales usados en las botellas de barrera recorren toda la gama de polímeros. Un excelente polímero de barrera es el alcohol etilen-vinílico (EVOH) junto con el polidicloruro de vinilideno (PDCV). La limitante en el uso del EVOH es el hecho de que se tiene que importar del Japón, y es relativamente caro.

El PDCV se ha utilizado muy exitosamente como barrera por alrededor de medio siglo, y actualmente hay disponibilidad de muchos tipos de PDCV especiales para moldeo por soplado.

El PCV ha sido aceptado por mucho tiempo para ciertas aplicaciones de barrera. Las botellas ofrecen las mismas características que las ofrecidas por las botellas estrujables; peso ligero, mejor resistencia, y bajo costo de material.

Otros polímeros usados para botellas de barrera son el PEAD, PEBD, PTE, PC y PP.

En las tablas 10 y 11 se listan algunos tipos de multicapas, (14,18,29) así como su mercado y aplicaciones.

V.4.2. PROCESOS DE FABRICACION

Existen dos procesos para la producción de estructuras multicapas, la coextrusión y la coinyección.

En estos procesos, un polímero de barrera inmisible (como el nylon), se mezcla con la resina base y es extruido o inyectado al mismo tiempo. Controlando la temperatura y la presión para prevenir que se combinen, el resultado es una discreta capa central constituida por el polímero de barrera dentro de las paredes del envase.

Aplicación	Mercado	Propiedades	Capas	
			Interior	Exterior
Mayonesa Café Comida de bebé	Productos alimenticios	Barrera para oxígeno Conservación de aroma Esterilización	PEBD PEBD PP	EVOH
Pasta de dientes Lociones	Cosméticos	Lista para impresión Superficie brillante	PEAD PP	Nylon EVOH
Gasolina Insecticidas	Productos Técnicos	Barreras permeables	PEAD	Nylon
Productos Químicos incompatibles con PE	Químicos	Resistencia química contra productos corrosivos	Nylon	PEAD

TABLA 10. Mercado y aplicaciones de algunas barreras multicapa

Propósito	Capas		Aplicaciones
	Interior y exterior	Central	
Envasado con barreras	PTE	EVOH Nylon Poliéster	Refrescos, cervezas Jugos, mayonesa, aceite comestible
Envasado en caliente	PTE	PC Poli- arilato	Para esterilización Llenado en caliente (mas de 85°C)
Envasado de alta resistencia	PTE	PTE con fibra de vidrio	Mayor resistencia y dureza
Botellas de PTE reciclado	PTE	PTE reciclado	Reducción de costos

TABLA 11. Combinaciones de algunas barreras multicapas

V.4.2.1. COEXTRUSION

Las ventajas de la coextrusión son que el equipo y la tecnología ya está disponible y tiene una velocidad de producción relativamente alta y es económica. Las desventajas residen en la alta cantidad de desperdicio generado, las dimensiones de las paredes son difíciles de mantener e inevitablemente existirá un borde cortado expuesto, que puede resultar crítico en situaciones en que un material de barrera sensible al agua (EVDH) es expuesto durante largos períodos a una humedad relativa alta.

V.4.2.2. COINYECCION

La coinyección ofrece varias ventajas sobre la coextrusión como un paso inicial en la manufactura de contenedores rígidos de barrera. Las dimensiones pueden ser controladas permitiendo una doble junta en las líneas existentes de cerrado; se elimina el desperdicio y el grosor de las paredes puede controlarse. La principal desventaja de la coinyección es su velocidad y productividad limitadas. (9,10)

V.4.3. CONCLUSIONES SOBRE LOS RECIPIENTES DE BARRERA

Al contrario del desarrollo de las botellas de PTE para refrescos, no hay una tecnología dominante, un producto, un mercado o especificaciones que dirijan el desarrollo de los contenedores de plástico rígido con barrera, sino que se tienen que considerar varios aspectos, tales como:

- elección de los materiales

- elección de los procesos de fabricación y llenado
- redefinición de los requerimientos del producto, etc.

No existe un contenedor óptimo, sino que cada uso específico tiene un diseño característico.

Muchas de las introducciones actuales parecen ser tecnologías dirigidas más que mercados dirigidos. Los contenedores rígidos con barrera reemplazarán a sus contrapartes de vidrio y metal para crear nuevos sectores en el mercado, puesto que ofrecen:

- a) una percepción mayor en el consumidor,
- b) desempeño superior,
- c) conveniencia superior y
- d) bajo costo

La figura 29 muestra la cantidad de contenedores rígidos utilizados en 1981 y en 1991, lo cual nos da una idea del incremento en el uso de los contenedores plásticos, desplazando a los metálicos y a los de vidrio. (15,22)

V.5. ENVASES DE PCV VS ENVASES DE PTE

La manufactura en base a las materias primas favorece el precio del PCV puesto que más del 50% de su peso consisten en cloro.

El PTE muestra mejores propiedades físicas y es más estable durante el procesado, es más transparente y brillante, y por lo tanto, más parecido al vidrio.

Las tendencias del mercado indican que el PTE crecerá

Materiales de los contenedores rígidos

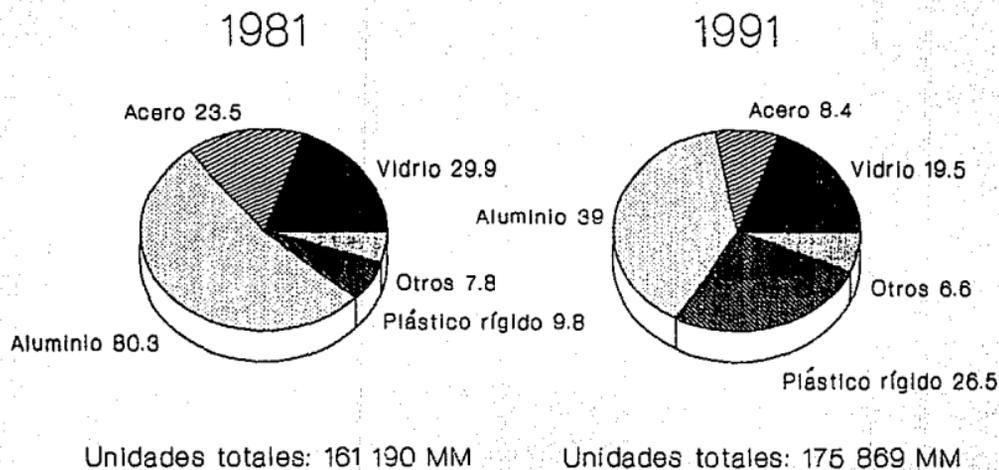


FIGURA 29. Materiales para contenedores rígidos 1981 vs 1991

alrededor de un 15% por año, reemplazando a los materiales tradicionales de envasado, como el vidrio, el metal y el PCV.

El cambio de PCV a PTE, tiene un potencial de 0.5 billones de envases en los mercados de agua mineral, aceite comestible y vino. Otras aplicaciones como el empaque de detergentes, etc., ofrece un potencial todavía mayor.

La manufactura de botellas de PTE requieren de una mayor inversión, entre 3 y 5 veces mayor que la requerida para fabricar PCV. Las botellas de PTE son entre el 16 y el 70% más caras que las de PCV; sin embargo, debido a esto, las botellas de PTE ofrecen una mejor recuperación de la inversión.

En caso de que la sustitución del PCV por PTE sea obligatoria (bien o mal), la producción de PTE tendrá que ser triplicada.

Los nuevos compuestos de PCV proporcionan estabilidad térmica mejorada, por lo que se han hecho trabajos para fabricar botellas de 1 y 2 litros que pueden ser llenadas en caliente y pasteurizadas.

Por lo tanto, que tan lejos lleguen el PCV y el PTE, esta en un continuo sube y baja. En cuanto a las propiedades, el PTE puede lograrlo, en cuanto a la manufactura, el PCV también. (17,19,21)

V.6. INNOVACIONES

Las innovaciones en todo tipo de materiales (plásticos, metales, madera, etc), en todo tipo de procesos (moldeo por soplado, estampado de metal y plástico, etc.) y en todo tipo de diseños, continuamente expande los mercados para todos los

productos, especialmente para los plásticos. Un ejemplo de esto lo constituye el empleo de la coextrusión, que permite incorporar una tira de material claro en un contenedor opaco para que el usuario pueda ver el nivel del contenido, inserciones en los cuellos coinyectados para hacer botellas resistentes al calor, etc.

Básicamente, las innovaciones suelen ser de dos tipos:

- en el producto final y,
- en la maquinaria utilizada para su manufactura.

V.6.1. CONTENEDORES PLEGABLES

Con una máquina convencional para moldeo por soplado, se puede manufacturar una botella de plástico plegable, estas botellas presentan algunas ventajas sobre las botellas convencionales o "pasivas", tales como:

- 1) Reduce el espacio de almacenamiento, transporte y distribución.
- 2) Prolonga la frescura del producto reduciendo la oxidación y la pérdida de dióxido de carbono.
- 3) Provee una superficie continua de acceso a alimentos tales como mayonesas y mermeladas.

Lo mejor de todo, provee al consumidor de un envase diferente, e innovador, cuyas ventajas en el mercado justifican la marca registrada del producto: "La Botella Inteligente".

Los pliegues se traslapan y doblan para retener la condición de plegado sin ayuda externa, proporcionando así una característica

de "auto-cierre". Este "auto-cierre" es el resultado de poner juntas, bajo presión, dos secciones cónicas adyacentes de proporciones desiguales y en diferentes ángulos con respecto al eje de la botella.

Haciendo un análisis más técnico, este cierre o pliegue se debe a la acción de giro de una sección cónica alrededor de un punto o pivote fijo, desde una posición de descanso externa a una interna. Los dos puntos fijos simétricamente opuestos y los segmentos giratorios mantienen un diámetro constante a medida que se mueven a lo largo del eje de la botella. Las dos secciones cónicas adyacentes no deben exceder un ángulo de 110° , con el fin de hacer un anillo plegable bien definido. El tamaño de la sección cónica giratoria B no debe ser más del 80% de la sección cónica giratoria A, para evitar el bamboleo durante el plegado de la botella. Lo anterior se muestra en la figura 30.

El plegado inicial de la botella no debe ocurrir antes de 3 a 10 horas después de la manufactura de la misma, puesto que muchas veces, el proceso de encogimiento no siempre es completado después de que los moldes se han enfriado, lo que podría causar malformaciones en los anillos. Se necesita presión inicial para este primer tiempo de plegado, con el fin de crear anillos plegables permanentes. Los plegados y expansiones subsecuentes se facilitan mucho con los anillos que sirven como bisagras, y pueden ser realizados antes del llenado a una temperatura de 20°C o mayor.

En la mayoría de las operaciones de manejo, la botella debe sufrir 3 cambios de volumen:

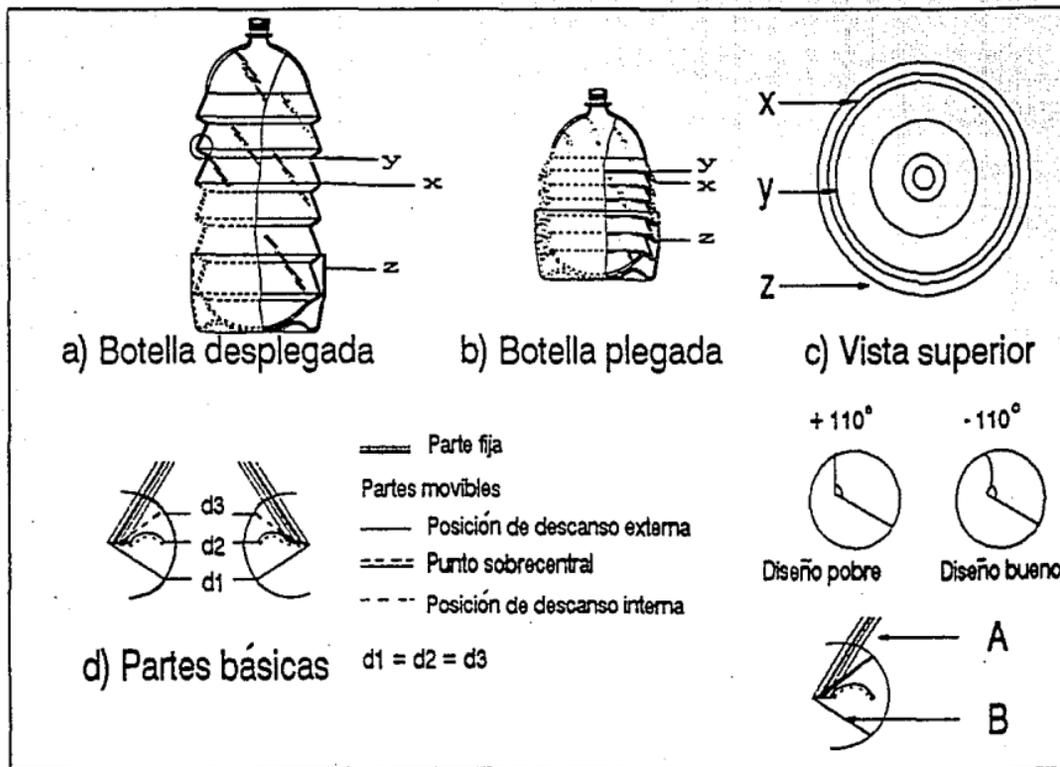


FIGURA 30. Componentes de una botella plegable

- 1) Plegado inicial de la botella antes del embarco o almacenamiento.
- 2) Expansión de la botella antes o durante el llenado.
- 3) Plegado final para su desecho.

Se ha probado que los anillos de plegado son muy durables y pueden resistir docenas de plegados sin sufrir fallas.

En la figura 31 se muestran algunas reducciones de volumen que se pueden obtener con estas botellas.
(14,15,18,29)

V.6.2. INNOVACIONES EN LA MAQUINARIA

El soplado por presión es un proceso con el cual se pueden producir artículos específicos con ciertos detalles que no podrían realizarse con otros procesos de moldeo por soplado.

La relevancia del soplado por presión es que en su primera inyección, se moldea una "cabeza" o un "cuello" en uno de los extremos del parison. A continuación, el parison es empujado hacia arriba a medida que es extruido, y se coloca en un molde para soplado para producir piezas con dos extremos abiertos o con un extremo cerrado, que puede ser un cuello destinado a romperse o el fondo de una botella.

Una ventaja del soplado por presión es que casi no produce desperdicios ni derrames de material en la sección de inyección del ciclo. Hay una pequeña producción de desperdicio durante la extrusión y el soplado, como resultado del cerrado del molde. Con las máquinas actuales de soplado por presión, este desperdicio es

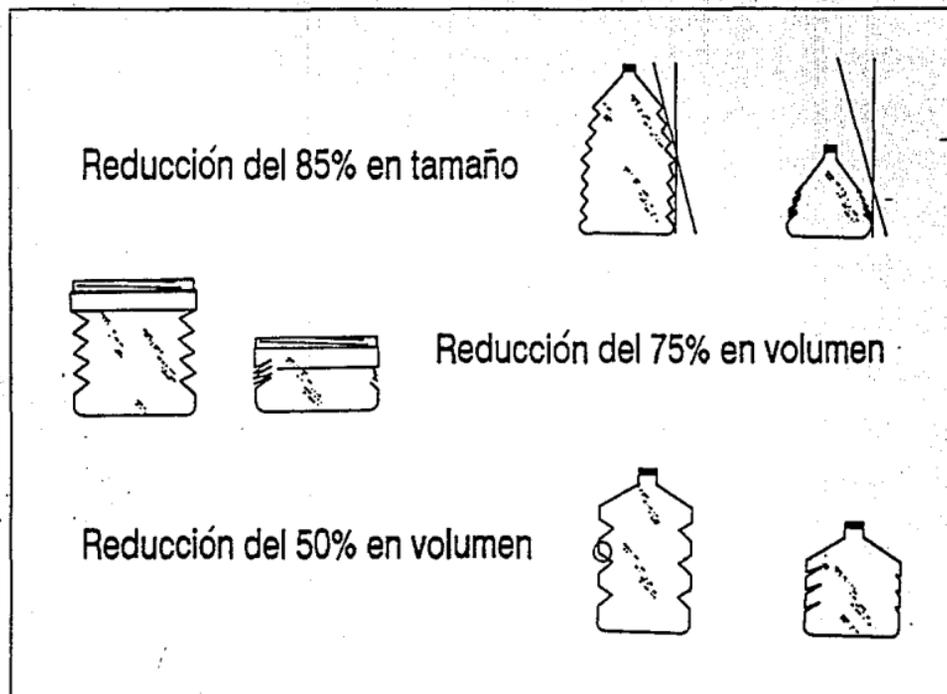


FIGURA 31. Reducciones en tamaño y volumen con botellas plegables

separado automáticamente en el interior de las mismas.

El proceso completo consta de 4 fases de operación. En la primera, el molde de inyección para formar la cabeza o el cuello se mueve hacia abajo entre las mitades del molde de soplado y se coloca firmemente en la parte superior de la tobera por la que se inyecta el material fundido dentro del molde. El cuello o cabeza recién formado se enfría dentro de la cavidad de inyección, como se ve en la figura 32a. Al principio de la segunda fase, el molde de inyección se eleva de la tobera, levantando al parison junto con él, figura 32b. Dicho parison sigue unido al material fundido de la tobera, por lo que es extremadamente manejable y ayuda a la extrusión de preformas muy delgadas. La tercera fase comienza tan pronto como el molde de inyección alcanza su posición original, terminando la extrusión del parison. Inmediatamente, el molde de soplado se cierra alrededor del parison y el aire entrante por el cuello o el fondo abierto fuerza al parison suave y caliente contra la pared fría del molde, tal como se hace en el moldeo por extrusión-soplado convencional, figura 32c. Pero a diferencia del método tradicional, el molde no tiene que comprimir al parison alrededor del soplador, por lo que la fuerza de cerrado es mínima.

La cuarta fase empieza cuando la pieza está lo suficientemente fría. El molde de soplado se abre y la pieza es retirada, figura 32d. Mientras tanto, la primera fase empieza nuevamente. (10.25)

V.7. COMPRA DE REBINAS

Los plásticos de ingeniería, que incluyen plásticos aleados o

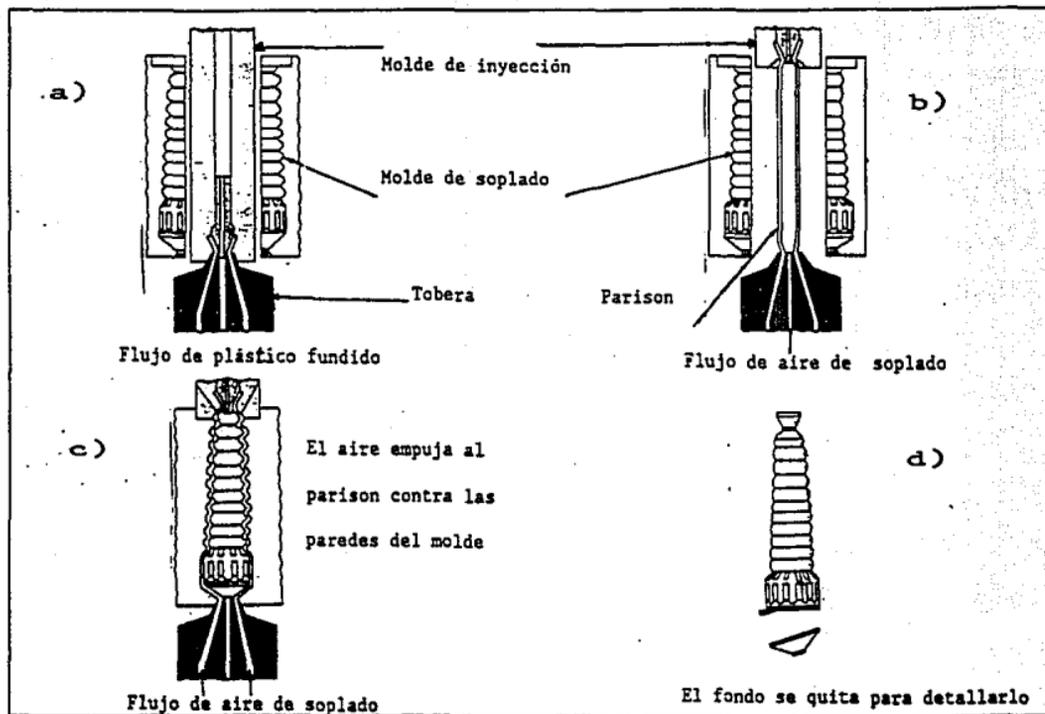


FIGURA 32. Representación del proceso de soplado por presión

reforzados. con propiedades mejores que los llamados plásticos de gran volumen de uso, representan alrededor del 3.5% del total de ventas por peso y el 8% del total de costos de ventas. En la figura 33 se muestran las comparaciones de costos de algunos plásticos de ingeniería junto con algunos metales:

TERMOFIJOS

- 1) Fenólicos
- 2) Urea
- 3) Melamina
- 4) Alkyd

TERMOPLASTICOS

- 5) Nylon 6,6 (con fibra mineral)
- 6) PTE (con fibra de vidrio)
- 7) Nylon 6,6 (con fibra de vidrio)
- 8) PP orientado (con fibra de vidrio)
- 9) PBT (con fibra de vidrio)
- 10) Acetal (con fibra de vidrio)
- 11) PC (con fibra de vidrio)
- 12) Polisulfonas
- 13) Polisulfuro de fenileno (con fibra de vidrio)

METALES

- 14) Aluminio
- 15) Zinc
- 16) Latón
- 17) Acero inoxidable

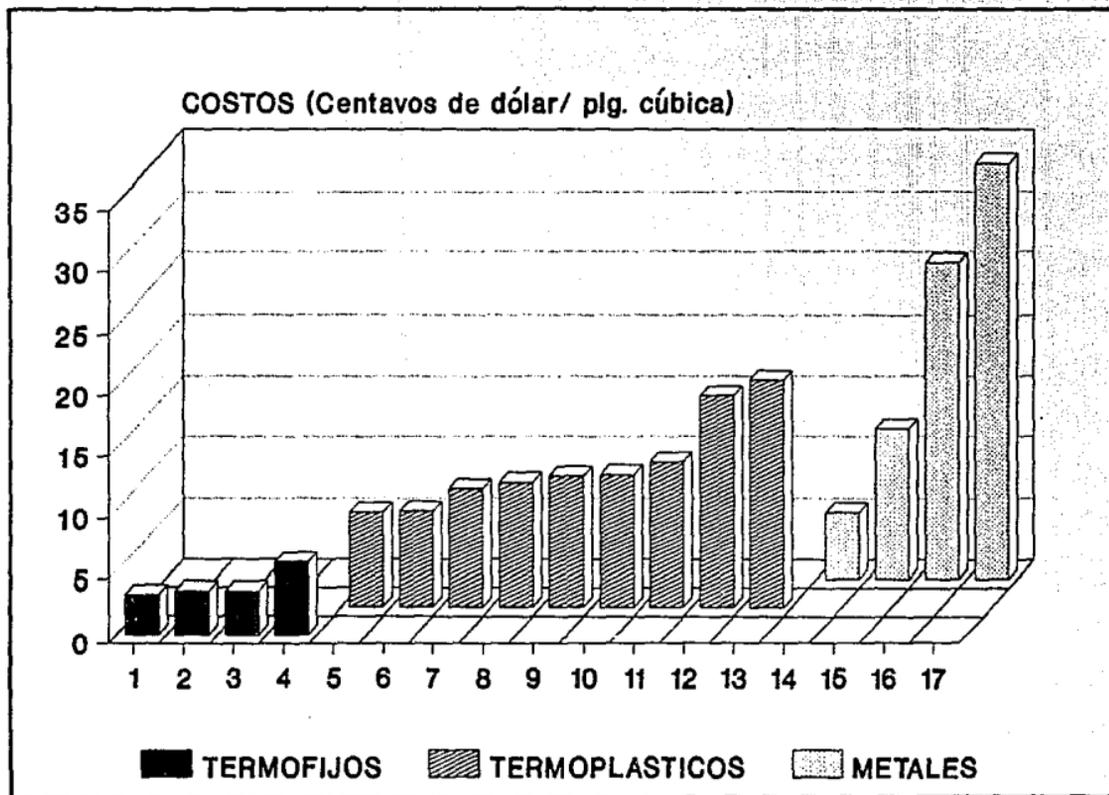


FIGURA 33. Costos de diferentes materiales para envases

En algunos aspectos, el procesado de los plásticos de ingeniería es más fácil que el de los de gran volumen de uso; sin embargo, deben tomarse en cuenta algunas consideraciones:

- 1) Se requieren algunos cambios en el diseño del tornillo de la maquinaria,
- 2) Un control de temperatura más estricto,
- 3) La velocidad de salida del parison es distinta,
- 4) Los moldes son generalmente calentados más que enfriados,
- 5) El encogimiento es menor,
- 6) Los ciclos son generalmente más cortos,
- 7) Algunos plásticos de ingeniería son higroscópicos,
- 8) El cambio en el color y los materiales puede ser más difícil.

La decisión sobre que tipo de materiales debe emplearse, debe hacerse de la misma forma que al elegir entre el moldeo por extrusión-soplado o el moldeo por inyección-soplado, es decir, tomando en cuenta costos, ventajas, desventajas, volumen de producción, condiciones de proceso, maquinaria disponible, especificaciones del producto final, propiedades de la materia prima, etc.

(10,25)

CONCLUSIONES

Desde la aparición del primer polímero totalmente sintético, la baquelita, en 1908, el uso de los plásticos en la fabricación de todo tipo de objetos de uso diario, se ha incrementado día con día.

Uno de los campos de aplicación que ha presentado un desarrollo considerable a partir de 1940, es el de la utilización de los plásticos en la elaboración de embalajes y envases para todo tipo de mercancías, incluyendo productos de la industria químico-técnica, productos alimenticios, artículos farmacéuticos, cosméticos, detergentes, insecticidas, derivados del petróleo, etc.

La misión de un embalaje o envase es de suma importancia, pues no sólo protege a la mercancía de las influencias externas que podrían dañarla, deteriorando su calidad o haciéndola inadecuada para el consumo; sino que también facilita el almacenamiento, el transporte y la distribución de la mercancía. También sirve como medio de publicidad para el producto, pues un diseño innovador y un decorado atractivo, inducen al cliente a consumir dicho producto, especialmente en las industrias alimenticia y de cosméticos.

Para la fabricación de los embalajes plásticos, especialmente los llamados cuerpos huecos, existen básicamente 3 procesos: el moldeo por extrusión-soplado, el moldeo por inyección-soplado y el moldeo por inyección.

Los dos primeros son los más importantes para fabricar envases plásticos, pues no hay ningún otro proceso para plásticos que ofrezca la versatilidad y las ventajas económicas que el moldeo por

soplado; que es el tercer proceso utilizado a nivel mundial para producir todo tipo de productos, consume alrededor del 10% de todos los plásticos producidos; el 36% se usa en extrusión-soplado y el 32% en inyección-soplado.

En cuanto al moldeo por inyección, se pueden obtener por lo general piezas grandes y de medianas dimensiones, presenta ciertas desventajas en comparación con el moldeo por soplado, debido a que la maquinaria es más cara y las condiciones de operación, diferentes.

El continuo desarrollo de materiales con mejores propiedades, así como de materiales de barrera, de mejores máquinas procesadoras y de nuevos métodos de producción, son algunos de los factores que han hecho de la industria productora de cuerpos huecos, una de las más lucrativas a nivel mundial, además de ser una de las industrias que presentan un mayor crecimiento anual, pues no sólo expande sus mercados actuales, sino que tiene todas las posibilidades de introducirse a muchos otros más.

Para que un embalaje o envase sea adecuado para la producción, la distribución y el consumo, hay que tomar en cuenta varios aspectos importantes, que son:

- 1) Características y propiedades de la mercancía.
- 2) Diseño adecuado del envase y del elemento de cierre, considerando los requerimientos para su aplicación final, tales como propiedades mecánicas, estructurales, estéticas, etc.
- 3) Selección adecuada de la materia prima, considerando nuevos materiales, aleaciones, aditivos, costos, disponibilidad, etc., que

nos permitan cumplir con los puntos anteriores.

4) Selección del proceso de fabricación pertinente, tomando en cuenta costos, volumen de producción, limitantes técnicas, etc.

Un análisis detallado de cada uno de estos factores, sopesando las ventajas y desventajas que presentan, hará posible tomar una decisión racional en cuanto al tipo de envase idóneo para determinada mercancía y/o sus necesidades de manejo.

APENDICE A-1

ENSAYOS MECANICOS

a) PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE TRACCION (ASTM 683)

Espécimen. El espécimen puede ser moldeado por inyección o maquinado a partir de placas moldeadas por compresión. Aunque su tamaño puede variar, el espesor típico es 1/8 plg. La figura 34 ilustra su forma.

Procedimiento. Ambos extremos del espécimen se sujetan firmemente en las tenazas del aparato de ensayo. Las tenazas pueden separarse entre sí a velocidades de 0.05, 0.2, 0.5, 2 ó 20 plg/min, jalando la muestra en sus dos extremos. La fuerza aplicada se grafica automáticamente contra la deformación (elongación) en papel milimétrico.

Importancia. Las propiedades de tracción constituyen la indicación individual más importante de la resistencia de un material. Con este ensayo se determina la fuerza necesaria para romper la pieza al estirarla y, además, la capacidad de estiramiento antes de romperse.

El módulo elástico es la relación entre la fuerza aplicada y la deformación que se produce en la región en la que ambas son proporcionales. El módulo es esencialmente una medida de la rigidez y el conocimiento de esta propiedad resulta muy útil, pues las piezas deben diseñarse de tal manera que su comportamiento en uso normal quede dentro de los límites de la región proporcional en la que se mide el módulo. En algunas aplicaciones en las que se desea

un módulo de tipo caucho, es decir, una gran elongación antes de la ruptura puede ser de gran valor práctico. Por otra parte, en el caso de piezas rígidas, la elongación tiene poca utilidad. Sin embargo, una elongación moderada sí representa algunos beneficios, pues esta característica permite una rápida absorción de los impactos. De esta forma, el área total bajo la curva de fuerza/deformación es una buena indicación de la tenacidad general del material. Un producto de una alta resistencia a la tracción y poca elongación, tenderá a ser frágil durante su uso. En la figura 35 se muestra el dispositivo usado para el ensayo de tracción.

b) PROCEDIMIENTO DE COMPRESION DE PLASTICOS RIGIDOS (ASTM D695)

Espécimen. Se usan bloques de $1/2 \times 1/2 \times 1$ plg, o cilindros de $1/2$ plg de diámetro por 1 plg de longitud.

Procedimiento. El espécimen se monta en una herramienta de compresión que se sitúa entre dos cabezales que se mueven a velocidad constante. La carga aplicada es registrada por un indicador.

La resistencia de un material a la compresión se calcula como las $\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$ necesarias para romper el espécimen o deformarlo en un cierto porcentaje de su altura original. Puede expresarse como presión en el punto de ruptura o como porcentaje de deformación.

Importancia. La resistencia de los plásticos a la compresión está limitada por el diseño, pues los productos plásticos (excepto las espumas) rara vez fallan en compresión. Sin embargo, las cifras de resistencia a la compresión pueden ser muy útiles como

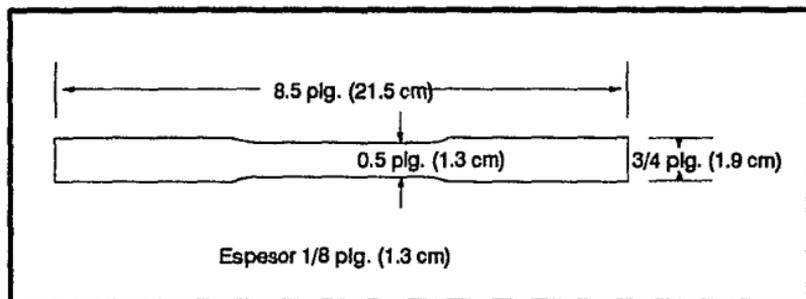


FIGURA 34. Espécimen para ensayo de tracción

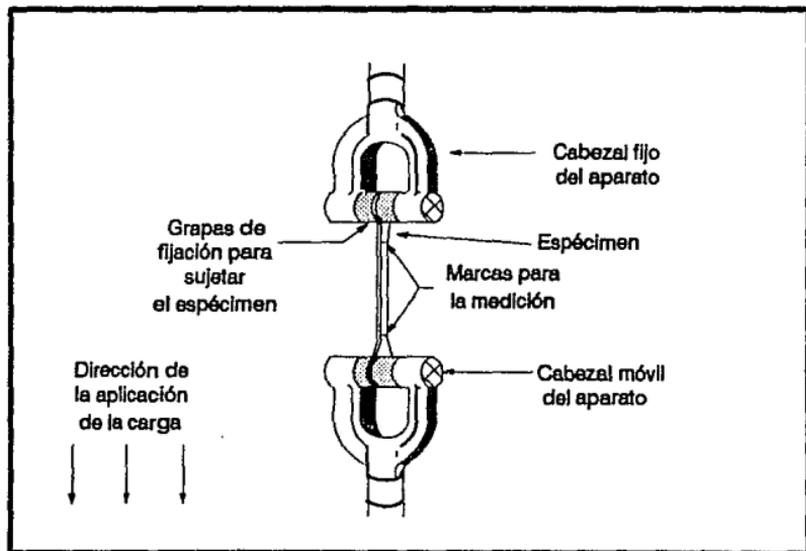


FIGURA 35. Dispositivo para ensayo de tracción

especificaciones para distinguir diferentes grados de un mismo material, y también para evaluar, junto con otras propiedades, la resistencia general de diferentes tipos de productos.

En la figura 36 se muestra el dispositivo de ensayo a la compresión.

c) IMPACTO DE IZOD (ASTM D256)

Espécimen. Por lo general se usan muestras de $1/8 \times 1/2 \times 2 \ 1/2$ plg. Se pueden utilizar especímenes de otros espesores, pero $1/8$ plg es el más frecuente debido a que es más representativo del valor promedio de piezas moldeadas. En la cara angosta del espécimen se corta una entalladura, tal como se muestra en la figura 37.

Procedimiento. La muestra se fija en la base de un instrumento de péndulo, de tal manera que quede en forma de ménsula hacia arriba, con la entalladura situada en la dirección del impacto. Al dejar caer el péndulo, se calcula la fuerza usada para romper el espécimen desde la altura máxima a la que llega el péndulo en su recorrido después de la ruptura.

Importancia. El ensayo Izod de resiliencia o resistencia al impacto indica la energía requerida para romper especímenes en condiciones estándar ($50 \pm 2\%$ de humedad relativa, 73.4 ± 1.8 °F). Se calcula como pie-lb por plg de entalladura y generalmente se determina en base a una muestra de 1 plg, aunque el espécimen puede ser más delgado en la dirección lateral.

El valor de Izod es útil para comparar diversos tipos o grados

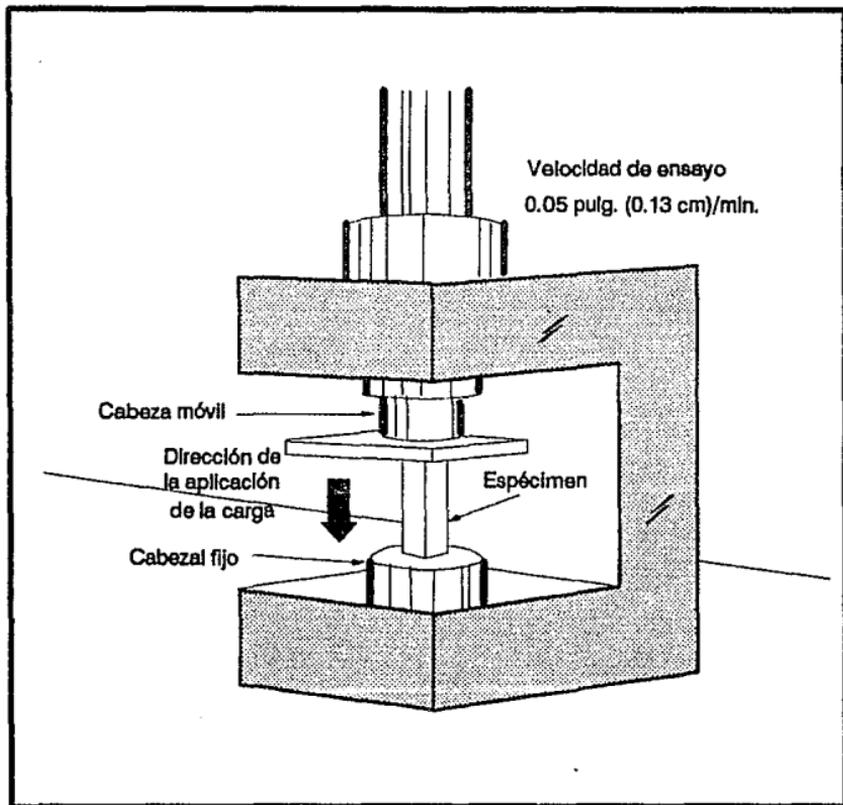


FIGURA 36. Dispositivo para ensayo de compresión

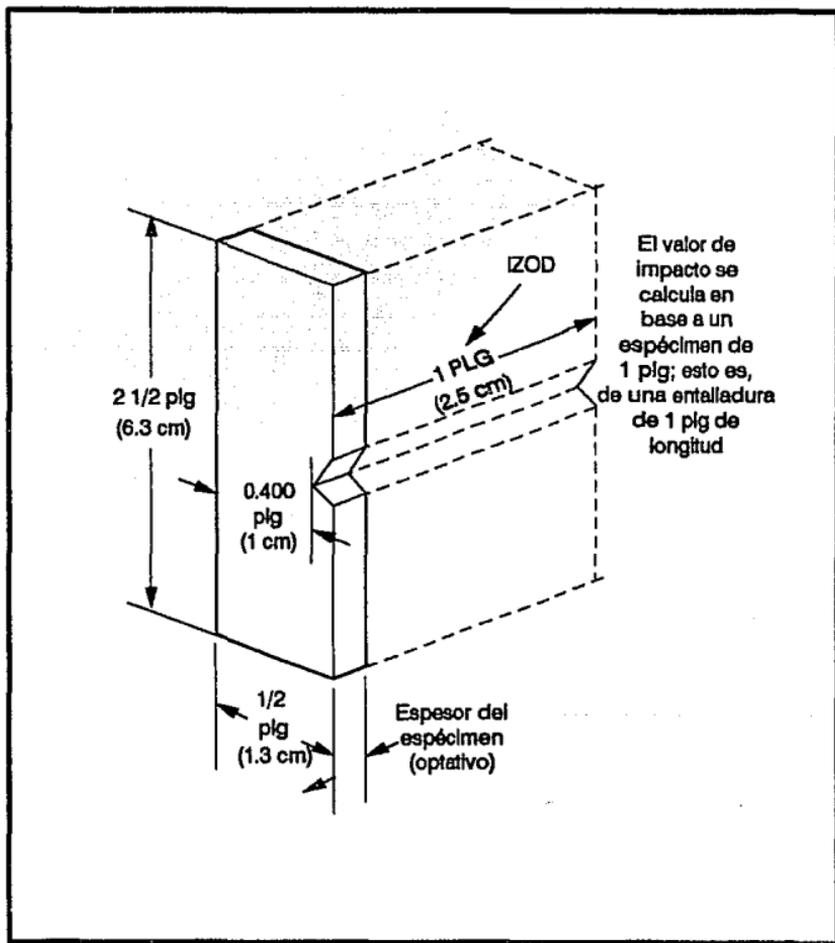


FIGURA 37. Espécimen para ensayo Izod

de plásticos. Sin embargo, al evaluar un plástico contra otro, el ensayo de Izod no debe considerarse como una indicación confiable de la tenacidad o resistencia total al impacto. Algunos materiales resultan sensibles a las entalladuras y producen mayores concentraciones de esfuerzos en el área de éstas. El ensayo de impacto Izod puede ser indicativo de la necesidad de evitar aristas agudas en piezas hechas con el material en cuestión.

d) DUREZA ROCKWELL (ASTM D785)

Espécimen. Se usan hojas o placas de cuando menos 1/4 plg de espesor. Este espesor puede estar constituido por varias piezas más delgadas, cuando resulte necesario.

Procedimiento. La superficie del espécimen se presiona con una esfera de acero con una carga baja. Esto produce una ligera indentación que sirve para asegurar un buen contacto. Después de esto se procede a ajustar el medidor a una lectura cero. Entonces se aplica una carga grande durante 15 s y se retira, mientras que la carga baja se sigue aplicando. La indentación obtenida después de 15 s se lee directamente en el medidor. Este valor se registra precedido de una letra que representa a la escala Rockwell de dureza empleada en la prueba. Los tamaños de las esferas y las magnitudes de las cargas son variables, por lo que los valores obtenidos con un aparato no siempre pueden correlacionarse con los de otro.

Importancia. La dureza Rockwell puede diferenciar durezas relativas de diferentes tipos de un mismo plástico. Sin embargo, y

puesto que el ensayo no sólo depende de la dureza sino también de la recuperación elástica, no es válido comparar la dureza de diferentes plásticos en base exclusiva a este ensayo. La dureza Rockwell no es un índice de las características de desgaste o abrasión. Por ejemplo, los poliestirenos tienen valores altos de dureza Rockwell, pero muestran una mala resistencia al rayado.

APENDICE A-2

ENSAYOS TERMICOS

a) TEMPERATURA DE DEFLEXION (ASTM D648)

Espécimen. Los especímenes miden 5 x 1/2 x cualquier espesor desde 1/8 hasta 1/2 plg.

Procedimiento. El espécimen se coloca sobre soportes separados 4 plg y sobre el centro de la pieza se aplica una carga que produzca un esfuerzo de 66 ó 264 lb/plg². La temperatura de la cámara se eleva a una velocidad de $2 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ por minuto. La temperatura a la cual la barra se flexiona 0.010 plg se reporta como la temperatura de deflexión a 66 (ó 264) lb/plg² de carga.

Importancia. Este ensayo determina la temperatura a la cual se presenta una deflexión arbitraria en condiciones de carga preestablecidas. No pretende ser una guía directa de los límites de alta temperatura para aplicaciones específicas, pero puede ser útil en la comparación de los comportamientos relativos de diversos materiales en las condiciones de ensayo. Esta es una prueba muy útil para control de calidad y desarrollo de materiales. En la figura 3B se muestra el dispositivo usado para esta prueba.

b) EFECTOS PERMANENTES DEL CALOR (ASTM D794)

Espécimen. Cualquier pieza de plástico o parte moldeada.

Procedimiento. Los especímenes se colocan en un horno con circulación de aire a una temperatura (múltiplo de 25°C) que se sepa esté cercana al límite de temperatura de degradación del material ensayado. Si al cabo de 4 hr no se observa ningún cambio

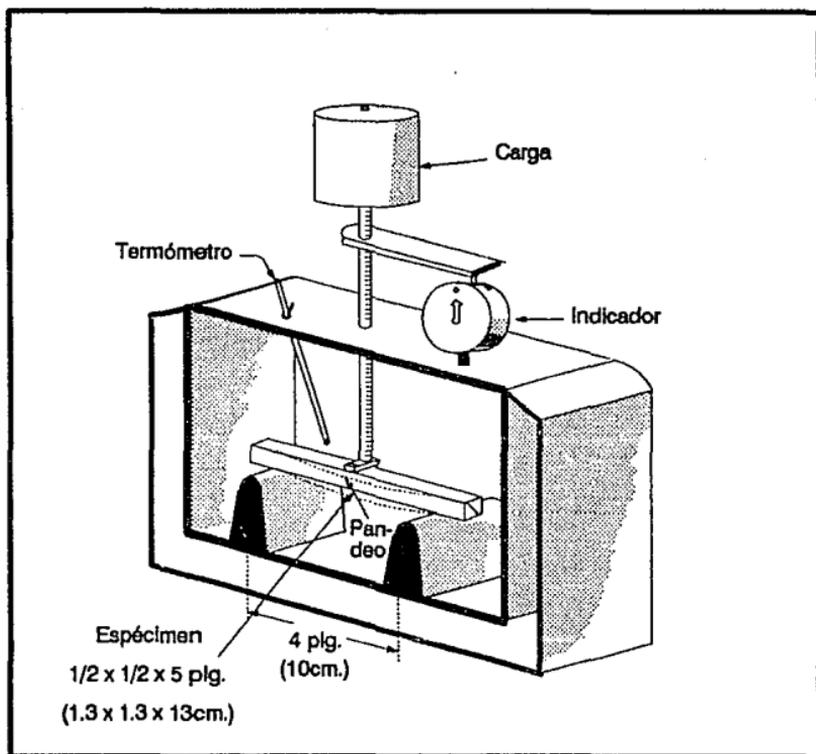


FIGURA 38. Ensayo de temperatura de deflexión

en el material. la temperatura se aumenta en incrementos de 25°C a intervalos de 4 hr hasta que se produzca algún cambio. El cambio puede afectar a una o más propiedades de interés especial - mecánicas, visuales, dimensionales, color, etc. -. El ensayo se reporta de tal manera que se indiquen los efectos del calor y que las especificaciones de ensayo sean reproducibles.

Importancia. Este ensayo tiene una utilidad especial en relación con aplicaciones ya conocidas o bien potenciales, que se basen en usos a temperaturas elevadas. Permite comparar varios plásticos y grados de un mismo polímero, tanto en forma de especímenes de ensayo como también piezas moldeadas en su forma final.

c) CONDUCTIVIDAD TERMICA

Existen dos métodos para medir la conductividad térmica de los diferentes tipos de plásticos: la norma ASTM C177, para plásticos sólidos; y la norma ASTM D2326, para plásticos celulares. Básicamente, estos ensayos miden la velocidad de flujo de calor a través de espesores conocidos del material cuando se establece una cierta diferencia de temperatura (ΔT) en los extremos del espesor. La conductividad térmica varía con la temperatura, aumentando al elevarse ésta.

APENDICE A-3

ENSAYOS FISICOS

a) ABSORCION DE AGUA (ASTM D570)

Espécimen. Para materiales moldeables, los especímenes son discos de 2 plg de diámetro y 1/8 de plg de espesor. Las muestras se secan 24 hr en un horno a 50°C, se enfrían en un desecador y se pesan de inmediato.

Procedimiento. Los datos de absorción de agua pueden obtenerse por inmersión durante 24 hr o más en agua a 23°C. Al extraerlos, los especímenes se secan con un lienzo y se pesan de inmediato. El incremento de peso se reporta como porcentaje de absorción.

Para los materiales que pierden algo de materia soluble durante la inmersión (como los celulósicos) la muestra debe volverse a secar y pesar, para reportar también el porcentaje de pérdida de materia soluble. El porcentaje de aumento de peso más el porcentaje de pérdida de materia soluble es igual al porcentaje de absorción de agua.

Importancia. Los diferentes plásticos absorben cantidades variables de agua, y la presencia de ésta puede afectar a los materiales de diversas maneras. Las propiedades eléctricas cambian en forma muy notable al absorberse agua y esta es una de las razones de la popularidad del polietileno como material dieléctrico, pues absorbe muy poca. Los plásticos que absorben cantidades de agua relativamente grandes, tienden a variar dimensionalmente durante el proceso. Cuando los productos hechos con estos materiales requieren de estabilidad dimensional, se

escogen los plásticos con un grado mínimo de absorción de agua.

b) RESISTENCIA A LA INTEMPERIE Y AREJAMIENTO (ASTM D1435)

Espécimen. No existen dimensiones específicas, y la pieza puede ser cualquier espécimen moldeado en condiciones estándar, trozos cortados o muestras maquinadas.

Procedimiento. Los especímenes se montan a la intemperie sobre paneles que permitan una inclinación de 45° y estén orientados hacia el sur. Se recomienda llevar a cabo exposiciones concurrentes en diferentes climas para obtener una serie de datos que sea lo más amplia y representativa posible. Los especímenes deben estar duplicados para mantener bajo cubierto una serie de ellos, que sirven como control y comparación. Los reportes de resistencia a la intemperie describen todos los cambios observados, las áreas de exposición y el periodo de tiempo.

Importancia. Los ensayos a la intemperie son el método más adecuado para obtener una apreciación real de esta propiedad. La única desventaja de este ensayo consiste en el tiempo requerido, que puede llegar a ser de varios años. Por lo general, se requiere un gran número de especímenes para poder retirar algunos de manera periódica y correr las pruebas de laboratorio después de cada lapso de exposición.

APENDICE A-4

PRUEBAS PARA DETERMINAR ALTERACIONES EN EL OLOR Y SABOR DE LOS ALIMENTOS ENVASADOS EN PLASTICO (ASTM E460, ASTM E461, ASTM E462)

Para determinar las modificaciones de olor y sabor, se pueden efectuar varios métodos, como el examen en serie, en triángulo o un método de dos muestras.

a) EXAMEN EN SERIE

Para un examen en serie se presentan al examinador varias muestras, generalmente entre cinco y diez, y el examen se basa en las propiedades de sabor, olor o ambas a la vez. Para conseguir una mayor objetividad es aconsejable incorporar a las mezclas las llamadas muestras ciegas, de carácter totalmente neutro. Si el examen es realizado por varias personas, la distribución de estas muestras ciegas debe efectuarse según una codificación.

b) EXAMEN EN TRIANGULO

El examen en triángulo proporciona buenos resultados. El examinador recibe tres muestras de las que dos son iguales y la tercera diferente. Por tanto, su primera misión es determinar cuáles son iguales. A continuación tiene que determinar cual de las muestras ha experimentado una modificación en cuanto a sabor, olor o ambos.

La valoración de estas series de exámenes permite reconocer muchas veces que algunos controladores reaccionan claramente ante determinados componentes del sabor o del olor.

c) METODO DE DOS MUESTRAS

El método de dos muestras es un examen de diferencias entre dos

muestras de diversas producciones o también de diversas partidas, en las que solamente se busca la diferencia de ambas muestras entre sí. Lo realizan también varios examinadores, cada uno de los cuales recibe un juego de muestras. Si las muestras estuvieran marcadas hay que codificar la designación.

En los tres métodos de control se realiza el ensayo de olor con la mercancía de un recipiente cerrado. El controlador lo abre un momento para el examen y aspira repetidamente el aire del recipiente. La valoración se efectúa sobre una escala de intensidad acordada, como las siguientes:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 0 = no se aprecia olor | 0 = no se aprecia olor |
| 1 = trazas de olor | 1 = olor débil |
| 2 = olor muy débil | 2 = olor moderado |
| 3 = olor débil | 3 = olor fuerte |
| 4 = olor moderado | 4 = olor extremadamente fuerte |
| 5 = olor fuerte | |
| 6 = olor extremadamente fuerte | |

El control del sabor de la mercancía puede realizarse mediante preparaciones de control. A tal fin se extrae una muestra de magnitud determinada del envase. La muestra se mezcla en un recipiente cerrado con una materia apropiada como agente de control. De ser posible se empleará para ello la mercancía prevista para el envasado. Simultáneamente se conserva en un recipiente de vidrio sin contacto con el material envasado, una muestra de agente de control que sirva como comparación, es decir,

de la mercancía a envasar. La diferencia de estos sabores de las dos muestras sometidas a un almacenaje prolongado, permite obtener entonces la influencia del material de envasado sobre el alimento.

APENDICE A-5

ENSAYOS BACTERIOLOGICOS PARA PLASTICOS

a) RESISTENCIA A LOS HONGOS (ASTM G21)

Espécimen. El espécimen más simple puede ser una pieza de 2 x 2 plg, o de 2 plg de diámetro o una pieza de por lo menos 3 plg de largo cortada directamente del material a probar. También se pueden usar piezas completamente fabricadas. En tales especímenes, las observaciones de los efectos se limitan a la apariencia, densidad de crecimiento, reflexión y transmisión óptica, o evaluación manual de las propiedades físicas, tales como la suavidad.

Para una evaluación visual, se deben inocular tres especímenes. Si el espécimen es distinto en dos lados, tres especímenes de cada uno, de un lado y de otro, deben ser probados.

Procedimiento. El procedimiento de esta prueba consiste en:

1) Selección de un espécimen adecuado para determinar las propiedades pertinentes.

2) Inoculación de los especímenes con organismos adecuados, que pueden ser los siguientes:

Aspergillus niger

Penicillium funiculosum

Chaetomium globosum

Gliocladium virens

Aureobasidium pollulans

3) Exposición de los especímenes inoculados a condiciones

favorables para el crecimiento de dichos organismos,

4) Examen visual del crecimiento, y

5) Remoción de los especímenes, observación y pruebas, tanto antes de limpiarlos como después de limpiarlos y reacondicionarlos.

Importancia. La porción resinosa de estos materiales es usualmente resistente a los hongos, por lo que no sirven como fuente de carbón para el crecimiento de los mismos. Son generalmente los otros componentes, tales como plastificantes, celulosicos, lubricantes, estabilizantes y colorantes, los responsables del ataque de los hongos en los materiales plásticos. Es importante establecer la resistencia al ataque microbiano bajo condiciones favorables a tal ataque, generalmente, a una temperatura de 2 a 38°C y a una humedad relativa del 60 al 100%.

Los efectos que pueden esperarse son ataque a la superficie, decoloración, pérdida de transmisión óptica, cambios en la textura, en el peso, dimensiones y otras propiedades físicas, así como deterioro de las propiedades eléctricas.

b) RESISTENCIA A LAS BACTERIAS (ASTM G22)

Espécimen. Tienen las mismas características de los especímenes utilizados en la prueba anterior, (ASTM G21).

Procedimiento. El procedimiento consiste en los siguientes pasos:

1) Selección de especímenes adecuados para evaluar propiedades pertinentes,

2) Inoculación de los especímenes con organismos adecuados,

tales como las *Pseudomonas aeruginosa*,

3) Exposición de los especímenes inoculados a condiciones favorables para el crecimiento de las bacterias,

4) Examen visual del crecimiento, y

5) Remoción, esterilización y evaluación de los especímenes.

Importancia. Al igual que en la prueba para resistencia a los hongos, son los plastificantes, lubricantes, estabilizantes y colorantes los compuestos susceptibles a un ataque por bacterias, y por lo tanto, los efectos a esperarse son los mismos que en el ataque por hongos, de aquí la importancia de realizar estas pruebas.

APENDICE A-6

ESPECIFICACIONES ESTANDAR PARA CONTENEDORES PLASTICOS

CONTENEDORES PLASTICOS PARA PRODUCTOS DEL PETROLEO (ASTM D3435, ASTM F852, ASTM F976)

El propósito de estas especificaciones es la de establecer requerimientos uniformes de calidad para los contenedores plásticos usados para los productos del petróleo, tales como gasolina y queroseno. Con esto se intenta proveer a los productores, distribuidores y usuarios, de un código oficial basado en el conocimiento de las características del producto.

Requerimientos: Los contenedores deben mostrar un buena mano de obra y cumplir los siguientes puntos:

-- **Color.** Cada contenedor debe ser opaco; si es coloreado, los pigmentos no deben afectar o ser afectados por los productos del petróleo. Para la gasolina, el color preferido debe ser el rojo, y para el queroseno, el azul.

-- **Capacidad.** Para la gasolina y el queroseno, la capacidad máxima debe ser de 25 lts, determinada a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

-- **Estabilidad.** Los contenedores deben estar diseñados de modo que cuando estén llenos a su capacidad nominal, no tengan caídas cuando se coloquen en cualquier dirección en un plano inclinado 20° con respecto a la horizontal.

-- **Asa.** Cada contenedor deberá estar provisto de un asa adecuada para el transporte cuando el contenedor esté lleno. El

asa debe ser una parte integral del recipiente o estar fijada en forma segura a él. No debe mostrar indicios de goteos o de desprendimiento.

-- Aberturas. Cada abertura de los recipientes deberá contar con un dispositivo de cierre adecuado.

-- Vertido. La abertura designada para el vertido, debe tener un pico o canal, o aceptar algún dispositivo parecido que acompañe al recipiente. El pico de vertido debe estar diseñado de forma que no haya goteos o fugas de la gasolina o el queroseno.

-- Respiradero. El recipiente debe estar provisto con un respiradero o algún otro medio de venteo.

-- Llenado. La abertura destinada al llenado del recipiente debe tener un diámetro interno mínimo de 1.25 plg.

-- Marcado. El recipiente debe estar claramente marcado con por lo menos uno de los siguientes puntos:

- a) El nombre del fabricante,
- b) El nombre del etiquetador privado, y
- c) Un símbolo de identificación.

El recipiente también debe estar marcado con su capacidad, tanto en litros, como en galones.

BIBLIOGRAFIA

(Libros)

- 1) Allen G., J.C. Bevington (Eds.), "Comprehensive Polymer Science" Vols. 1-7. Pergamon Press, Oxford, 1989.
- 2) Billmeyer, E.W., "Textbook of Polymer Science", Wiley Interscience Division of John Wiley and Sons, 3rd. Edition, New York, 1984.
- 3) Kühne G., "El Plástico en la Industria, Tratado Práctico, Envases y Empaques". Ediciones G.Gilli. S.A. de C.V., 2a. Edición. 1991.
- 4) Stevens M.P., "Polymer Chemistry, an Introduction", Oxford University Press, 2nd. Edition. New York, 1991.
- 5) Rudin A., "The Elements of Polymer Science and Engineering", Academic Press, New York, 1982.
- 6) Agranoff J. (Ed.), "Modern Plastics Encyclopedia". Vol. 61, McGraw-Hill. New York, 1984.
- 7) Driver W.E., "Química y Tecnología de los Plásticos". CECSA, México, 1991.
- 8) Morton-Jones D.H., J.W. Ellis, "Polymer Products, Design, Materials and Processing". Chapman and Hall Ltd., New York, 1989.
- 9) Rosato D.V., D.V. Rosato, "Injection Molding Handbook". Van Nostrand Reinhold. New York, 1986.
- 10) Rosato D.V., D.V. Rosato (Eds.), "Blow Molding Handbook", Hanser Publishers, Munich, 1989.

(Revistas)

- 11) "Blow Molding Technology News". *Plastics Technology*, Diciembre 1986, pp 13-14.
- 12) Beagley K.. "In-Mold Labeling: Adding a Plus to Plastics Bottles". *Packaging*, Marzo 1987, pp 66-67.
- 13) "New In-Mold Labeler for Blown Bottles". *Modern Plastics*, Agosto 1988, pp 28-32.
- 14) "Retortable Containers". *Plastics World*, Enero 1987, pág. 43.
- 15) "Plastics Push Package Development Forward", *Plastics World*, Febrero 1987, pág. 64.
- 16) "Packaging Innovation is a Tradition in Coca-Cola". *Packaging*, Agosto 1986, pp 26-31.
- 17) "Blow Molding Today. A Manufacturing Census", *Plastics Technology*, Noviembre 1986, pp 24-27.
- 18) "Plastics Cans: Out of the Lab. Into the Stores". *Plastics World*, Febrero 1986, pp 32-35.
- 19) "PET Bottles". *Plastics Technology*, Enero 1988, pp 121-123.
- 20) "Blow Molded Containers". *PM & E*, Diciembre 1985, pág. 35.
- 21) "PET will be the King of Containers by 1990", *Plastics World*, Junio 1988, pp 8-9.

22) "Plastics Packaging's New Entry". Chemical Week, Febrero 1988, pp 15-17.

(Documentos varios)

- 23) "Plastics. The International Plastics Selector Guide", A. Corawa Co., 1988.
- 24) Blow Molding. Monsanto Co. Communications, 1987.
- 25) Rosato, D.V.. "Blow Molding: Technology, Performance and Economics". University of Lowell. Plastics Seminars, 1984.
- 26) Bekum Communications, 1987.
- 27) Plastics Design and Processing Communications, 1988.
- 28) Plastics Technology Communication, 1986.
- 29) Rosato, D.V.. "Blow Molding Expanding Technologywise and Marketwise". SPE-ANTEC. Mayo 1987.
- 30) Annual Book of ASTM Standares. Vols. 80.01-80.03. 1990.
- 31) Normas y Especificaciones para envases plásticos. Dirección General de Normas. 1990.
- 32) Anuario de la Industria Química. Asociación Nacional de la Industria Química. 1992.