

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**"ENVASE Y EMBALAJE DE ALIMENTOS:
VALIDACION DE LA PROBLEMÁTICA EXISTENTE
DURANTE LA ELABORACION DE ENVASES DE
PET POR EL SISTEMA INTEGRADO DE DOS
ETAPAS PARA SU USO EN BEBIDAS
CARBONATADAS."**

**TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A ;
SUSANA GODINEZ TORRES**

ASESOR: I.A. VICTOR MANUEL AVALOS AVILA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2002

**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 esta 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.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN



Departamento de
Exámenes Profesionales

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Envaso y embalaje de alimentos. Valoración de la problemática
existente durante la elaboración de envases de PET con el sistema
integrado de dos etapas para su uso en bebidas carbonatadas.

que presenta la pasante: Susana Godínez Torres

con número de cuenta: 9555812-1 para obtener el título de:

Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 22 de Marzo de 2002.

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>I.A Rosalia Meléndez Pérez</u>	
<u>III</u>	<u>I.B.Q. Jaime Flores Minuti</u>	
<u>IV</u>	<u>I.A. Victor Manuel Avalos Avila</u>	

DEDICATORIAS

**A DIOS LE AGRADEZCO POR DARMER LA CAPACIDAD PARA CONCLUIR
ESTA META.**

**A MIS PADRES ROBERTO Y MARGARITA LES DEDICO ESTE TRABAJO,
POR TODO EL APOYO MORAL Y ECONÓMICO QUE ME HAN BRINDADO A
LO LARGO DE MI DESARROLLO PROFESIONAL, POR LO QUE ESTE
LOGRO NO ES SÓLO MIO SINO TAMBIÉN DE USTEDES.**

**A MIS HERMANOS, SOBRINOS Y CUÑADOS CON QUIENES COMPARTO
ESTE LOGRO Y AGRADEZCO EN ESPECIAL A FATIMA Y ROBERTO POR LA
AYUDA QUE ME BRINDARON CUANDO LOS NECESITE.**

**A ADMED POR SU APOYO INCONDICIONAL PARA LA REALIZACIÓN DE
MIS PROYECTOS.**

Y A TODOS MIS PROFESORES POR BRINDARME SUS CONOCIMIENTOS.

INDICE

	Página
Prólogo	1
Introducción	2
Antecedentes	5
Objetivos	7
CAPITULO I: GENERALIDADES DE LOS ENVASES PLÁSTICOS UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE ENVASES PARA BEBIDAS CARBONATADAS	8
1.1 Clasificación de los plásticos	9
1.2 Principales tipos de plásticos	10
1.3 Características de los plásticos	12
1.4 Generalidades del PET	19
CAPITULO II: ELABORACIÓN DE ENVASES DE PLÁSTICO	21
2.1 Moldeo por extrusión - soplado	22
2.2 Termoformación	22
2.3 Moldeo por inyección	22
2.4 Moldeo por inyección soplado	23
2.5 Extrusión y termoformado de la lámina de PET	25
2.6 Descripción del proceso de extrusión	25
2.7 Descripción del proceso de termoformado	29
2.8 Proceso de inyección soplado	31
2.9 Estaciones en una máquina de inyección	34
2.10 Secado del polímero	37
2.11 Eliminación de humedad proceso de difusión	40
2.12 Requerimientos del aire de secado	44
2.13 Especificaciones de los envases de PET	46
2.14 Control de proceso	48
2.15 Proceso de soplado	52
2.16 Sistemas de elaboración de envases	55

CAPITULO III.- PROBLEMÁTICA DURANTE LA ELABORACIÓN DE ENVASES Y ALTERNATIVAS	58
3.1 Nomenclatura de los envases de PET	58
3.2 Principales problemas a ser considerados durante el secado del PET	61
3.3 Pruebas de recepción de preforma	62
3.4 Pruebas de laboratorio efectuadas a la botella	64
3.5 Principales defectos de las botellas	69
3.6 Principales fallas en el proceso y recomendaciones	77
3.7 Moldeo por soplado	80
3.8 Factores importantes a considerar durante la elaboración de envases de PET	85
Conclusiones	88
Anexo 1 Especificaciones de envases de Pet para bebidas carbonatadas	89
Bibliografía	91

INDICE DE TABLAS

	Página
1 Principales tipos de plásticos	10
2 Plásticos estructurales	13
3 Plásticos de barrera	13
4 Plásticos para sello	14
5 Usos comunes de los diferentes tipos de plásticos	15
6 Contracción de los plásticos	21
7 Espesores de pared de la botella	66
8 Especificaciones de capacidad de llenado	67
9 Especificaciones de condición de almacenamiento	77
10 Alternativas en el proceso de moldeo por inyección	80
11 Alternativas en el proceso de moldeo por soplado	85

INDICE DE FIGURAS

	Página
1 Línea de termoformado integrada para envases de PET	24
2 Esquema de preforma- envase	32
3 Máquina de inyección de plásticos	34
4 Estaciones en una máquina de inyección	35
5 Hidrólisis del PET	38
6 Absorción de humedad del PET	39
7 Influencia de temperatura sobre humedad absorbida	40
8 Efectos de temp. de secado y humedad removida	44
9 Etapas de soplado de la preforma	52
10 Esquema de distribución de temperaturas	53
11 Máquina sopladora de preformas	54
12 Partes principales de la botella	60
13 Defectos más comunes en las botellas	71
14 Botella con exceso de material en el fondo	75
15 Botellas aperladas	75
16 Formación de burbuja en el presoplado y exceso de material	76

PRÓLOGO

El motivo por el cuál se eligió la problemática que existe durante el procesamiento del PET se debe a que las empresas han tenido una serie de problemas durante su procesamiento para obtener envases. En el presente trabajo me enfoco principalmente al envase destinado para contener bebidas carbonatadas, ya que actualmente este tipo de bebidas ocupan un lugar muy importante dentro del consumo humano, y por consecuencia representa una demanda muy amplia para las empresas embotelladoras de refrescos; como sabemos el consumo del PET se ha incrementado a nivel mundial por razones muy sencillas, como son: es un material que tiene buena barrera a gases y a la humedad, de gran resistencia al rasgado, altamente transparente y brillante, alta barrera al oxígeno ó conservar atmósferas modificadas el cuál está sustituyendo casi por completo al vidrio.

Para tener un panorama más amplio de los envases de PET en el capítulo I se desarrollarán las generalidades de los envases plásticos.

En el capítulo II se describe el proceso de inyección – soplado con el fin de conocer el proceso e ir identificando los puntos críticos.

En el tercer capítulo se describen las pruebas de calidad a las que se somete un envase terminado destinado a contener bebidas carbonatadas así como las especificaciones que debe cumplir como requisito para que sea un envase de excelente calidad.

En el presente trabajo se identificarán los principales problemas que existen durante el proceso de elaboración de envases mediante el método de inyección soplado en el sistema de dos etapas; dando alternativas o sugerencias a dichos problemas dentro del Capítulo III.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la tendencia a utilizar polímeros se ha incrementado debido a los avances en su desarrollo, habiéndose logrado materiales con una gran capacidad de barrera al oxígeno y en general a los gases, con una ventaja; un costo mas reducido.

Tal es el caso de las industrias embotelladoras de bebidas carbonatas, que están sustituyendo al vidrio por el Pet, el cuál presenta excelentes propiedades de barrera a los gases como oxígeno, dióxido de carbono, y no sólo han sustituido al envase de vidrio y latas, sino que han brindado mas beneficios al consumidor final, como un manejo mas seguro del producto en comparación con la fragilidad del vidrio o la posible degradación o descomposición de los alimentos, sin posibilidad de verificar su vigencia solo hasta abrir el envase, como en el caso de las latas.

Está es una de las principales razones por la que nos enfocamos a la problemática existente durante el procesamiento de la resina del Pet hasta la obtención de un envase terminado.

El primer polietileno fue producido en Inglaterra en la década de los treinta por investigadores de la Imperial Chemical Industries (I.C.I.) experimentando con una mezcla de etileno y otro producto químico; produjo un residuo blanco, el primer polietileno se habría producido. No obstante pasaron varios años para que se dieran se dieran cuenta de las potencialidades del nuevo polímero, hasta que se efectuaron investigaciones más a fondo. *(Morton, 1999)*

Cuando estalló la segunda guerra mundial en septiembre de 1939, ya habían tenido resultados del nuevo producto que vino a satisfacer demandas importantes por las fuerzas armadas, sobre todo por sus propiedades

dieléctricas como aislante eléctrico para el radar y las comunicaciones con cables submarinos.

Unos años más tarde cuando las hostilidades se suavizaron, los investigadores industriales de América y Europa, iniciaron experimentos con el nuevo plástico en campos diversos como: el moldeo por inyección, recubrimiento de papel, fabricación de película, tuberías y botellas.

Pronto descubrieron que modificando ciertas condiciones en la elaboración del "PE" se tenían propiedades que lo hacían más útil para una gran variedad de aplicaciones, como las propiedades moleculares básicas afectan a las propiedades de los artículos terminados, fue necesario modificar su estructura molecular. *(Morton, 1999)*

Las propiedades moleculares básicas, densidad, peso molecular promedio y distribución del peso molecular, influyen en menor o mayor grado en las propiedades mecánicas de los artículos.

No obstante el gran entusiasmo que hay por estos materiales todavía existe desconocimiento de los que es un plástico y en que se diferencia con otros materiales. La característica esencial que distingue a los plásticos, es que se trata de sustancias orgánicas polimerizadas, es decir, que se obtienen a partir de compuestos de la química del carbono y que se transforman mediante el calor, la presión y catálisis, en un producto diferente.

La clave de esta transformación es la polimerización o sea el proceso por el cual las moléculas de una misma sustancia se enlazan entre sí, para producir moléculas más grandes que constituyen nuevas entidades químicas.

Dentro de esta variedad de polimerizaciones el más adecuado para la elaboración de envases para contener bebidas carbonatadas es el PET.

El polietileno tereftalato (PET) es un material que tiene un conjunto de propiedades que lo hacen particularmente útil en la fabricación de envases para bebidas carbonatadas, ya que presenta baja permeabilidad a los gases y muy buenas propiedades mecánicas como la resistencia al impacto y a la compresión. *(Irvin, 1996)*

El PET, uno de los materiales para envasado que más ha incrementado su consumo en los últimos años, resulta por sus características, especialmente interesante para reciclar y existe una importante demanda del producto reciclado para diversas aplicaciones. El reciclado del envase de PET como desperdicio industrial, comercial o postconsumo es una realidad viable, ya que da lugar a un producto con un importante valor agregado que se utiliza en diversas aplicaciones y contribuye a disminuir la generación de residuos.

A lo largo de su breve historia, el envase de PET ha llevado a cabo una considerable reducción de peso. Así las típicas botellas de refresco de 2 litros no retornables, que originalmente pesaban 64 gramos, actualmente apenas pesan de 50 a 54 gramos (reducción del 22 al 16%). Además, se ha eliminado la base del polietileno que servía de apoyo a la botella, facilitando su reciclado.

En el caso de envases de 2 litros retornables, están evaluando su reducción en peso (aprox. 10%). Esto hace del envase de PET uno de los más ligeros que existen en el mercado, contribuyendo no sólo a la reducción de la generación de residuos, sino también a disminuir el consumo de materias primas no renovables, energía, transporte, etc. *(Aprepet, 2001)*

ANTECEDENTES

Generalmente los alimentos han sido envasados en materiales como: vidrio, latas metálicas o cartón, en bolsas o sobres de papel y cada vez más en envases plásticos, rígidos o películas plásticas.

De estos el vidrio ha tenido una utilización muy amplia debido a la gran barrera de protección a los alimentos que este ofrece, sin embargo materiales como el aluminio en laminación proporciona una excelente barrera a muchos factores degradables de los alimentos.

Por lo anterior se puede decir que los materiales de envase y embalaje de mayor utilización son: papeles, cartoncillos, cartón corrugado, envases de vidrio, envases metálicos, envases de plástico rígidos, estructuras flexibles, películas plásticas, tapas y adhesivos principalmente.

El consumo de plásticos como material de envase y embalaje, se ha venido incrementando a nivel mundial, por razones muy sencillas, empezando por el costo que es generalmente más económico que otros materiales de empaque utilizados tradicionalmente.

Se mencionan los envases de vidrio y las latas, porque hasta hace poco tiempo eran las únicas alternativas para conservar por mayor tiempo los alimentos procesados; incluso sin refrigerar, ahora los envases de vidrio están siendo desplazados por envases plásticos de PVC, polietileno, polipropileno, PET o envases formados por varias capas de materiales plásticos, que unen sus propiedades físicas para lograr envases con características especiales.

Los envases deben diseñarse pensando en la protección mecánica del producto, así como la protección que evite las alteraciones descritas,

puediendo resumirse que las características que puede tener un envase son las siguientes:

- Grado alimenticio
- Características mecánicas adecuadas
- Permeabilidad al vapor de agua permeabilidad a los gases (N₂, O₂, CO₂, etc.)
- Permeabilidad a los aromas
- Permeabilidad al agua y a las grasas
- Protección a la luz

Cuando se requiere de envasar un alimento, la determinación del envase debe realizarse tomando en cuenta los requerimientos del producto a envasar, es decir no existe el envase ideal que pueda contener cualquier producto.

La selección de un envase depende de varios factores, como son: costo, necesidades técnicas de operación en equipos de envasado, transporte, vida de anaquel, apariencia y primordialmente: que el envase proteja efectivamente el producto. En cuanto a protección del producto, es donde el tipo de envase cambia de acuerdo al producto a envasar, ya que cada producto tiene necesidades específicas y diferentes. (Ariosti, 1998)

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la problemática que hay durante el proceso de elaboración de envases de PET por medio del sistema de moldeo inyección – soplado de envases aplicado a bebidas carbonatadas para proponer alternativas.

OBJETIVO PARTICULAR 1:

Generalidades de los plásticos utilizados en la elaboración de envases para bebidas carbonatadas.

OBJETIVO PARTICULAR 2.:

Descripción del proceso de inyección soplado mediante el sistema integrado de dos etapas.

OBJETIVO PARTICULAR 3:

Identificación de los principales problemas durante el proceso de elaboración de envases y alternativas a estos.

CAPITULO I.- GENERALIDADES DE LOS ENVASES PLASTICOS UTILIZADOS EN LA ELABORACION DE ENVASES PARA BEBIDAS CARBONATADAS.

Existen muchos tipos de plásticos, así como existen muchos tipos de metales y otros materiales. Los plásticos están formados por moléculas en estructuras cristalinas o amorfas. El ingrediente principal de los plásticos son los polímeros que tienen un elevado peso molecular, ya que son cadenas largas que contienen miles de moléculas.

Los polímeros son elaborados a partir de moléculas simples llamadas monómeros, como por ejemplo: el etileno, propileno y el estireno. Otros, como los plásticos celulósicos se obtienen de polímeros naturales como la celulosa del algodón.

El proceso de polimerización consiste en enlazar un gran número de moléculas de monómeros logrando una cadena larga conocida como polímero, el cual tiene un elevado peso molecular. La unión de moléculas o polimerización se puede lograr por dos métodos que son:

1.- Polimerización por adición: Esta forma de polimerizar también se le conoce como polimerización por radicales libres, que a través de enlaces químicos covalentes se unen los diversos monómeros.

2.- Polimerización por condensación: En este tipo de polimerización se crean primeramente cadenas lineales de monómeros llamadas prepolímeros, este prepolímero es una cadena donde aun los núcleos constitutivos de la misma mantiene radicales que pueden unirse a otras cadenas u otros compuestos, mismos que se adicionan o forman una segunda etapa. Por lo anterior las cadenas de este proceso tienden a ser ramificadas y no lineales. (Terry, 1996)

1.1 Clasificación de los plásticos

Los polímeros pueden clasificarse de diversas formas de acuerdo a:

- a) Su origen: Naturales y sintéticos
- b) Su estructura molecular: Homopolímeros, copolímeros, terpolímeros, tetrapolímeros, pentapolímeros y multipolímeros.
- c) Configuración de sus cadenas: Atácticos, isotácticos y sindiotácticos
- d) Su comportamiento frente al calor: Termoplásticos y termofijos.

Plásticos termoplásticos: Estos plásticos pueden ser procesados por algún método y después pueden ser reutilizados, fundiendo y moldeando nuevamente, las características del plástico se conservan, sin embargo después de varias reutilizaciones se empiezan a degradar, por lo que el reciclaje de los termoplásticos se efectúa mezclando un pequeño porcentaje de plástico reciclado como plástico nuevo.

En la industria de envases y embalajes los plásticos más utilizados son los termoplásticos, ya que esto generalmente permiten reciclaje de los mismos, sin embargo algunos termofijos también son utilizados como adhesivos.

Plásticos termofijos: Este tipo de plásticos tienen la característica que una vez que se forma la pieza fabricada en este material, no puede ser reutilizada la resina directamente como los termoplásticos, ya que no se reblandece ante el calentamiento. *(Ariosti, 1998)*

1.2 Principales tipos de plásticos

A continuación se muestra una lista de los principales plásticos más utilizados en la industria de los envases, así como la abreviatura de los mismos.

Tabla No. 1 Principales tipos de plásticos

PLASTICO	ABREVIATURA
Polimerizados acrílnitrilo-butadieno- estireno	ABS
Acetato de celulosa	CA
Acetato butirato de celulosa	CAB
Celofán	CT
Propionato de celulosa	CP
Poliestireno expandido	EPS
Polimerizado de PVC en emulsión	E-PVC
Copolímeros etileno-acetato de vinilo	EVA
Copolímero de etil vinil alcohol	EVOH
Copolímero de etileno acrílico ácido	EAA
Copolímero de etileno metacrílico ácido	EMAA
Copolímero de etileno metil acrilato	EMAC
Resinas o masas de colada metamina-formaldehído	MF
PVC polimerizado de masa	M-PVC
Poliámidá	PA
Polibuteno	PB
Policarbonato	PC
Poliétileno	PE
Poliétileno alta densidad	HDPE
Poliétileno de baja densidad	LDPE
Poliétileno de densidad media	MDPE

PLÁSTICO	ABREVIATURA
Polietileno baja densidad lineal	LLDPE
Polietilen tereftalato	PET
Polietilen tereftalato (para extrusión)	PETG
Resinas o masas de moldeo de fenol-formaldehído	PF
Polimetil-metacrilato	PMMA
Polimetil penteno	PMP
Poliacetal	POM
Polipropileno	PP
Polipropileno Biorentado	BOPP
Poliestireno cristal	C-PS
Poliestireno de impacto	I-PS
Poliestireno expandible	E-PS
Copolímeros estireno-acrionitrilo	SAN
Politetrafluoretileno	PTFE
Acetato de polivinilo	PVAC
Cloruro de polivinilo	PVC
Copolímeros cloruro-acetato de vinilo	PVCAc
Cloruro de polivinilideno (Sarán)	PVDC
Poliuretanos	PUR
Copolímeros estireno-butadieno	SB
PVC polimerizado en suspensión	S-PVC
Resinas o masas de moldeo de urea-formaldehído	UF
Ionómero	SURLYN®
Nylon	NYLON
Copolímero acrilonitrilo metacrilato	BAREX®

(Irvin, 1996)

1.3 Características de los plásticos

Los plásticos resultan una alternativa de envase en lugar de otros materiales tradicionales, se sabe que no existe el plástico perfecto que funcione para toda aplicación, por lo que cuando se diseña un material de empaque, debe hacerse pensando en las necesidades específicas del producto.

Los diferentes plásticos han sido desarrollados para cubrir necesidades específicas, por lo que existe una gran cantidad de ellos. Los plásticos se usan básicamente para la manufactura de recipientes, botellas, garrafas, vasos, sobres, bolsas, estuches y tapas, también son muy utilizados como elementos de protección en embalajes en forma de películas. *(Aricosti, 1998)*

Para el caso de los recipientes rígidos, las características que generalmente se buscan son:

- Resistencia mecánica del recipiente que evite colapsamientos
- Permeabilidad a gases (CO₂, O₂, N₂, vapor de agua)
- Resistencia a envasado a altas temperaturas
- Que no altere el olor y/o sabor del producto
- Evitar migración del producto a través de las paredes del envase
- Transparencia

En la elaboración de un plástico prácticamente se busca que estén orientados a:

- Permeabilidad de gases
- Que no impartan olores y/o sabores
- Protección ante la luz y rayos ultravioleta
- Buen deslizamiento en máquinas

- Buen sellado
- Resistencia al rasgado, punción

Por sus características de uso los plásticos se pueden clasificar en:

a) Plásticos estructurales:

Donde su mayor participación consiste en brindar cuerpo y resistencia al recipiente final. En esta clasificación se encuentran:

Tabla No. 2: Plásticos estructurales

Policarbonato	PC
Poliétileno	PE
Polipropileno	PP
Polestireno	PS
Cloruro de Polivinilo	PVC
Poliétilen tereftalato	PET

(Morton, 1999)

b) Plásticos de barrera

Estos polímeros son utilizados para brindar una barrera a gases o humedad, y en varias ocasiones no se presentan solos en un envase, sino que se presentan con otros plásticos en estructuras coextruídas, dentro de esta clasificación se encuentran:

Tabla No. 3: Plásticos de barrera

Cloruro de Polivinilideno	PVDC
Etil Vinil Alcohol	EVOH
Copolímero acrílonitrilo metacrilato	BAREX®
Poliétilen tereftalato	PET

(Morton, 1999)

c) Plásticos para sello

Son polímeros utilizados para lograr sellos adecuados en estructuras flexibles incluso en presencia de contaminaciones de producto tan complicadas como productos con gran contenido de grasas.

Tabla No. 4: Plásticos para sello

Polietileno de baja densidad	LDPE
Polietileno baja densidad lineal	LLDPE
Copolímeros etileno-acetato de vinilo	EVA
Ionómero	SURLYN®

(Morton, 1999)

Los envases que van a contener bebidas con CO₂, como refrescos, agua mineral o cerveza, deben estar diseñados de tal manera que puedan soportar hasta 5 volúmenes de dióxido de carbono. Esto significa que deberán tener un fondo que soporte dicha presión sin deformarse; los diseños más empleados para tal efecto ha sido el de forma esférica en la base y actualmente los de fondo petaloide.

Para poder parar las botellas de forma esférica se hace necesaria la utilización de bases que pueden ser de polietileno o polipropileno.

Para productos que no contengan CO₂, suelen emplearse botellas de base plana o normal donde no se necesita una base adicional.

Tabla No. 5: Usos comunes de los diferentes plásticos

Plástico	Formas	Características	Usos
Poliétileno de baja densidad (LDPE)	Piezas sólidas y película	En piezas sólidas es un material blando y translúcido, con resistencia a la elongación. En película se presenta con buena transparencia y alta resistencia a la elongación, buena barrera a la humedad y muy pobre barrera a gases. Es el material más económico que se encuentra en el mercado.	Utilizado para la fabricación de bolsas de plástico, frascos para bebidas infantiles, tapas con sellos de inviolabilidad y en películas como elemento de sello en estructuras flexibles, también en películas termoencogibles usadas en charolas
Poliétileno de alta densidad (HDPE)	Piezas sólidas y película	En piezas sólidas es un material rígido y translúcido con poco brillo y de muy poca barrera a gases, en película es un material fácilmente rasgable y rígido	Ampliamente utilizado para la fabricación de botellas elaboradas por proceso de extrusión, tapas de cuerda larga (Cosméticos) y bolsas de plástico
Poliétileno lineal (LLDPE)	Película	Altamente elongable, utilizado como agente de sello en presencia de grasas	Utilizado para la fabricación de películas estirables propias para sujetar estibas, también es utilizado como elemento de sello en estructuras flexibles donde se envasará producto con contenido de grasas.

(Barragán, 1997)

Tabla No. 5 (Continuación)

Plástico	Formas	Características	Usos
Poliestireno cristalino (C-PS)	Piezas sólidas y hojas para termoformado	Material transparente y quebradizo. No presenta barrera a gases o humedad. Material frágil y quebradizo.	Material utilizado para la elaboración de estuches ya que su alta transparencia lo hace muy atractivo. Estuches para casetes, envases de cosméticos
Poliestireno medio impacto	Hojas para termoformado	Material menos quebradizo que el poliestireno cristalino	Este material tiene mayor aplicación en envases como vasos para lácteos, y envases termoformados para galletas y repostería
Cloruro de polivinilo (PVC)	Piezas sólidas y películas	Altamente transparente y con brillo, fracturable. En película es un material rígido fácilmente rasgable.	Uno de los polímeros plásticos para extrusión de envases rígidos que tuvo la cara. De ser transparente y por tal razón durante muchos años fue la mejor alternativa para envases rígidos para aceites comestibles, agua purificada tiene aplicación en la fabricación de sellos de garantía en forma de bandas, así como también en películas para termoencopibles.

(Barragán, 1997)

Tabla No. 5 (Continuación)

Plástico	Formas	Características	Usos
Polipropileno (PP/ BOPP)	Piezas sólidas y película (BOPP)	El polipropileno es un material de alta memoria, es decir que al doblarse este tiende a recobrar la forma original. En envases rígidos presenta una apariencia translúcida. En película es un material altamente transparente, de alta resistencia a la punción y baja resistencia al rasgado. Presenta una pobre barrera a gases y humedad.	Envases rígidos en donde el llenado del producto se realiza en caliente (jarabes, mieles); fabricación de tapas en donde por su alta resistencia mecánica permite que las tapas no se fracturen soportando la presión del torque. Elaboración de películas plásticas muy utilizadas para envolver caramelos, frituras, dulces y que han desplazado casi en su totalidad al celofán, ya que comparativamente el BOPP es más económico y con altas propiedades de transparencia, resistencia a la punción y muy poca resistencia al rasgado.
Poliéster o Polietileno Tereftalato PET	Es un polímero grado botella, utilizado para envases rígidos sin embargo también se encuentra en forma de película siendo esta forma a la que se le conoce como poliéster	Es un material que tiene una buena barrera a gases y humedad, de gran resistencia al rasgado. Altamente transparente y brillante, no se fractura. A nivel de película su característica de alta barrera lo hace idóneo para el envasado de productos que requieren una buena barrera al oxígeno, o que requieren de conservar una atmósfera modificada, por ejemplo con nitrógeno.	En envases tiene un gran uso en bebidas carbonatadas y agua purificada, envases para enjuagues bucales, tarros para alimentos que no sean envasados a temp. Mayores a 60°C ya que a esta temp. el envase se deforma rápidamente. Cuando se requiere de llenado a temp mayores se tiene la alternativa del PET Cristalizado, que permite un llenado de hasta 85°C.

(Barragán, 1997)

Tabla No. 5 (Continuación)

Plástico	Formas	Características	Usos
Policarbonato (PC)	Envases rígidos	Altamente transparente, rígido, resiste altas temperaturas, no posee barrera a gases y es muy estable dimensionalmente, polímero considerado como polímero de ingeniería y es un material de alto costo casi comparado con el vidrio.	Biberones, discos compactos
Etil Vinil Alcohol (EVOH)	Co-extruido en envases semi rígidos y co-extruido en películas.	Es uno de los materiales de mayor barrera al oxígeno altamente higroscópico, entre mayor presencia de humedad se tiene, el EVOH pierde barrera significativamente al oxígeno. Este material solo se utiliza co-extruido con capas externas de alguna poliolefina (LDPE) que funciona como barrera a la humedad, manteniendo de esta forma la barrera a gases del EVOH.	En envases semirígidos para mayonesas y catsup, en películas para productos que requieren una alta barrera a gases, como embutidos y algunas frituras, que son envasadas en un sistema de atmósfera modificada.
Cloruro de Polivinilideno (PVDC)	Como recubrimiento de otros plásticos	Muy alta barrera al oxígeno.	Como recubrimiento de películas de PVC, para mejorar substancialmente su barrera al oxígeno, películas muy utilizadas para termoformado de Blister Pack en farmacéuticos.
Etil Vinil Acetato (EVA)	Como mezcla de polietileno y como agente de sellado.	Al mezclarse con polietileno tanto de baja como de alta densidad, da como resultado un polímero resistente a la despolimerización por efecto de temperaturas de congelación, así como por efecto de degradación de químicos como los detergentes.	Envolturas de productos congelados (paletas, helados) y envases rígidos para detergentes.
Ionómero (SURLYN)	Extruido y en película	Material utilizado para sellos con presencia de grasas y aceites, natural adherencia al aluminio, rango amplio de sellado.	Agente de sellado en estructuras flexibles para productos con presencia de grasa, bolsas para quesos y lácteos en general.
Copolímero Acrílico Metacrilato (BAREX)	Piezas sólidas y hojas para termoformado.	Material de muy alta barrera a gases principalmente al oxígeno.	Envases termoformados para quesos y cárnicos.

(Barragán, 1997)

1.4 GENERALIDADES DEL PET

El polietilentereftalato es un polímero termoplástico que se obtiene a partir de la reacción de esterificación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, que funde con calor, resistente y que cristaliza fácilmente con calor, puede ser orientado e igualmente estabilizado al calor.

El PET tiene tres estados estructurales:

1.- Estado orientado, donde es fuerte, rígido, menos permeable y claro (botellas con aproximadamente 26% de cristalinidad y densidad de 1.365 g/cm³)

2.- Estado cristalino: donde es duro, posee alta temperatura al ablandamiento, quebradizo, opaco (pellets con cristalinidad aprox del 50% y densidad de 1.4 g/cm³)

3.- Estado amorfo, es suave, posee baja temperatura de ablandamiento, claro (preformas con 5% máximo de cristalinidad, densidad de 1.336 g/cm³)
Las botellas se elaboran mediante soplado a partir de preformas moldeadas por inyección, después de un recalentamiento. Durante este procedimiento la velocidad se limita mediante la presión de inyección para evitar la formación de cristales esferulíticos en el polímero que se deben a la cristalización inducida por esfuerzos, y que provocan turbidez indeseable en una botella terminada.

También es importante controlar la temperatura de fusión en el moldeo por inyección para asegurar que fundan todos los cristales poliméricos y evitar la formación de acetaldehído debido a la degradación de polímeros por alta temperatura ya que este compuesto tiende a migrar hacia el producto contenido que si bien no es tóxico si altera el sabor.

Para obtener botellas de calidad satisfactoria a partir de PET el espesor de la pared de la preforma se limita a 4.2 mm, y debe lograrse una estructura cristalina con el soplado / estirado, además se requiere de un enfriamiento rápido para obtener un sólido amorfo con una temperatura de transición

vítrea de 80°C y cuando esta es rebasada se reblandece el envase. (Morton, 1999)

1.4.1 Características de los envases de PET

La resina de PET es ideal para la fabricación de envases por estirado – soplado. Estos envases poseen las siguientes propiedades:

- Alto brillo y transparencia
- Ligeros
- Irrompibles
- Excelentes propiedades de barrera
- Cerrado hermético
- Atóxicos
- Buena resistencia química
- Variedad de colores
- Variaciones mínimas de peso

CAPITULO II ELABORACIÓN DE ENVASES DE PLÁSTICO

Cualquier envase plástico parte de pequeñas partículas de plásticos conocidas como pellets, dichas partículas son fundidas dándoles la forma deseada, existen varias técnicas de fabricación de envases de plástico pero no necesariamente todas son utilizadas para la producción de botellas ya que algunas son aplicadas en la fabricación de envases para alimentos sólidos o semisólidos e incluso algunas de estas técnicas se aplican en la fabricación de productos muy diferentes como por ejemplo armazones de aparatos electrodomésticos. (Rodríguez, 1990)

Una característica mecánica de cualquier material, es aquella que al ser calentado, la densidad es alterada, es decir, un cuerpo caliente tiende a ocupar mayor volumen por expansión. Esta característica es muy importante y debe considerarse cuando se diseña un molde para una pieza de precisión; por lo que los moldes se fabrican más grandes que la pieza que se quiere obtener, con el fin de que al enfriarse y por lo tanto contraerse, la pieza obtenga el tamaño deseado.

Tabla No. 6: Contracción de los plásticos

Material	Contracción (%)
Poliétileno de baja densidad	1.5 a 5.0
Poliétileno de alta densidad	1.5 a 4.0
Polipropileno	2.0 a 2.5
Poliestireno	0.4 a 0.7
PET	2.0 a 2.5
PVC	0.5 a 2.5
Policarbonato	1.3 a 1.8
Nylon	1.3 a 1.8

(Ariosti, 1998)

A continuación se enlistan los métodos más empleados en la elaboración de envases, así como una descripción breve de los mismos:

2.1.- Moldeo por extrusión –soplado

Esta técnica puede ser continua o intermitente y es muy utilizado en la producción de botellas pequeñas de aproximadamente 8 onzas. Emplea múltiples tamaños de moldes y para el soplado puede emplear aire, CO₂ o una mezcla de gases con presiones de 50 a 150 psi dependiendo del envase que se vaya a producir. Este método se emplea para extrusión de PVC y polietileno entre otros. Esta técnica consiste en la formación de un tubo semifundido que se atenaza entre dos mitades de un molde y se inyecta aire para llenarlo, luego es enfriado con el envase ya formado en interior para que este solidifique rápidamente mientras aun esta bajo la presión del aire y este obtenga la forma del molde.

2.2- Termoformación

Con este método se producen envase de diferentes formas que no necesariamente son botellas, y por lo común se emplean laminas de polímeros obtenidos por extrusión, que son calentadas hasta que se reblandecen y luego se someten a deformación mediante una fuerza que se aplica al molde donde se enfría. La técnica más común para deformar laminas reblandecidas por calor, se basa en la disminución de presión de un lado para que la presión atmosférica deforme la lamina del otro lado.

2.3.- Moldeo por inyección

Como su nombre lo indica se basa en la inyección de un polímero fundido en un molde cerrado y frío donde se solidifica para dar el producto el cual es recuperado al abrir el molde. *(Aprapet 2,2000)*

2.4.- Moldeo por inyección soplado

Esta técnica en años recientes adquirió importancia en la producción de envases para bebidas carbonatadas y no carbonatadas, y esta difiere de la extrusión-soplado en el que se usa una preforma moldeada por inyección en vez de utilizar un producto intermedio directamente.

Como su nombre lo indica, se inyecta la resina fundida dentro de una cavidad o molde que enfría muy rápido el polímero y lo lleva a un estado amorfo, posteriormente el parison (preforma) es calentado hasta justo por encima por encima de su transición vítrea y se estira por soplado

El objeto de describir brevemente estos métodos es mostrar la importancia que tienen en la industria de envases plásticos y cual de ellas es utilizada en la producción de botellas para bebidas, como son los casos de inyección-soplado y extrusión -soplado. El presente trabajo tiene por objeto enfatizar en el método de inyección-soplado. (Ariosti, 1998)

Antes de conocer el proceso de inyección es necesario conocer un poco acerca de la extrusión del PET

2.5 Extrusión y termoformado de lamina de Pet

Una de las aplicaciones importantes de la resina PET grado botella, es la elaboración de envases para los usos más variados por medio del termoformado de lámina.

El proceso de transformación se divide en dos partes importantes: la extrusión de la lamina y termoformado de la misma.

Durante la fase de extrusión se funde el granulado en el husillo continuo. La masa se hace pasar a través de un dado plano ayudado por una bomba a la cabeza del cilindro para controlar el flujo.

Saliendo el material del dado, pasa sobre tres rodillos enfriadores con los que se obtiene una lámina amorfa y transparente.

En la estación de termoformado, primero se recalienta la lámina hasta la temperatura apropiada para su procesamiento. Posteriormente se hace pasar a través de unos moldes de dos piezas donde por medio de presión mecánica y neumática se formará el envase requerido.

La termoformadora puede estar integrada a la extrusora o puede estar separada.

Al igual que en la fabricación de envases por inyección – estirado – soplado, esta tecnología incorpora muchos aspectos sobre biorientación, razón por la que su conocimiento es importante en el diseño de envases. (Ariosti, 1998)

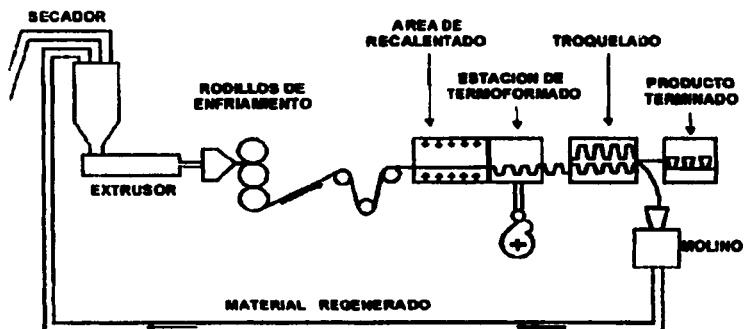


Figura No. 1: Línea de termoformado integrada para envases de Pet (Ariosti, 1998)

2.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

2.6.1 Secado del polímero

Para obtener un buen producto se requiere tener secado efectivo del material, para lo cual es necesario contar con un sistema de secado continuo montado sobre la máquina, que puede calentar el material a 175°C, durante 6 horas y que el aire de secado tenga un punto de rocío de -40°C.

Todo esto con el objeto de disminuir en lo posible el efecto de la hidrólisis causada por el agua en el polímero, es decir, para evitar la caída de viscosidad.

La caída de viscosidad en un proceso bien controlado no debe ser mayor de 0.02 dl/gr, situación en la que se puede usar un nivel de recuperable hasta de un 50%, el cual también deberá ser secado con el material virgen previamente mezclado.

Se recomienda utilizar siempre una cantidad constante de recuperable, tratando en lo posible detener la operación de la planta en balance, es decir, procesar la misma cantidad de recuperable que el proceso genera.

Cuando se incrementa la cantidad de recuperable, la densidad aparente de la mezcla baja y esto ocasiona que se formen puentes o cavemas en la tolva que no permite un flujo continuo de material hacia la entrada del extrusor, provocando variaciones en el espesor de la lamina.

Se debe vigilar que no haya entrada de aire húmedo dentro de la tolva de secado.

Con el objeto de que se consuma menor energía, se recomienda aislar muy bien la tolva con material aislante térmico para guardar el calor el mayor tiempo posible.

Se debe de asegurar que el paso del material en la tolva sea continuo, y que el tiempo de residencia, sea el mismo para todo el material, ya que en ocasiones la formación de cavemas hace que haya flujos indeseables del material.

Cuando el nivel del recuperable es superior al señalado, existe la posibilidad de que haya aire atrapado durante la extrusión y esto produzca burbujas o variaciones importantes en el torque del husillo que originen variaciones de espesor.

Se debe minimizar el uso de recuperable cuando el envase a producir va a contener alimentos sensibles al acetaldehído, es decir, que pudieran alterar sus propiedades organolépticas.

EXTRUSIÓN

El polímero es plastificado utilizando un extrusor equipado con husillo continuo cuyas características óptimas son:

*Relación L / D: de 24:1 a 32:1

*Relación de compresión: de 3:1 a 3.5:1

Las temperaturas de trabajo pueden ir de 270°C., a 285°C., tratando de seleccionar la temperatura mínima que permita el proceso, con el objeto de evitar la generación excesiva de acetaldehído así como la pérdida de peso molecular o caída de viscosidad. (Barragán, 1997)

En algunos husillos de alta productividad se recomienda contar con enfriamiento en el cilindro para tener un mejor control de temperatura.

FILTRADO DE MATERIAL FUNDIDO

Cuando se procesan grandes cantidades de recuperado, es conveniente trabajar con un paquete de mallas apropiadas para detener la mayoría de las impurezas.

Se deben instalar 2 manómetros antes y después del cambiador de mallas, para saber en que momento es necesario cambiarlas.

El cambiador de mallas se instala justamente en la cabeza del husillo en donde además de filtrar generará una ligera contrapresión que servirá para homogeneizar el material.

BOMBEO AL CABEZAL

Cuando el husillo tiene el diseño apropiado para el proceso, no es necesario trabajar con una bomba en el cabezal, sin embargo, si se trabajan grandes cantidades de recuperable o si se tiene diferencias importantes en la forma o tamaño del granulado, el uso de la bomba servirá para controlar mejor el flujo y por lo tanto, el espesor de la lámina.

MEZCLADORES ESTÁTICOS

Algunas veces se utiliza este tipo de mezcladores con el objeto de reducir las variaciones de viscosidad, que son resultado de una pobre mezcla de material virgen con el reciclado, sin embargo, este mezclador aumenta el tiempo de residencia en el cilindro, lo que incrementa el nivel de acetaldehído.

DADOS

Se pueden utilizar dados planos de labio flexible o de labio fijo con buenos resultado en ambos casos. Los de tipo flexible sin embargo, ofrecen un mayor rango de espesores de lámina, mientras que los de labio fijo están limitados en este sentido pero ofrecen un mejor control de espesores de temperatura.

Los labios de los dados deben estar alineados con los rodillos superiores, de tal manera que quede la lámina horizontal. El labio debe tener una separación máxima de 7 cm. entre él y el punto de contacto con los rodillos.

2.6.2 Extrusión de lámina

La resina se debe procesar en un sistema de tres rodillos enfriadores para obtener láminas con excelentes propiedades mecánicas y ópticas. Los rodillos superiores actúan como calandria para planchar rápidamente la masa que viene saliendo del dado y obtener una lámina amorfa brillante.

Se recomienda que el diámetro de los rodillos sea superior a las 14 pulgadas, enfriados por agua y con un cromado que garantice una superficie libre de imperfecciones. (Aprepets, 2000)

La temperatura de los rodillos puede variar de 10°C, a 65°C dependiendo de la productividad del equipo y del espesor de lámina. A temperaturas arriba de 65°C, la lámina se empieza a pegar en los rodillos provocando marcas en la lámina producida, por lo que se debe tener un buen equipo de control para evitar estos problemas.

El espesor de la lámina está influenciado por tres factores:

1. Velocidad del husillo.

2. Apertura de los labios del dado y
3. Velocidad de los rodillos enfriadores

Esta última se debe poder variar fácilmente para obtener el espesor requerido.

Una vez que la lámina sale del tercer rodillo, pasa sobre una cama de pequeños rodillos donde el aire del medio ambiente.

Ayuda en el proceso de enfriamiento del producto para pasar después entre dos rodillos de hule que van a jalar la lámina.

Finalmente se enrolla el producto en lo que se conoce como unidad de enrollado. Aquí es donde se obtienen los rollos maestros.

Existen algunos sistemas en los que se tiene integrado el extrusor a la unidad de termoformado y troquelado. En este caso no se hace rollo maestro, sino que después de los rollos de hule se pasa la lámina por un horno de resistencias eléctricas donde se lleva a una temperatura entre 95°C, y 110°C., para pasarla posteriormente a la termoformadora.

2.7 Descripción del proceso de termoformado

La resina PET puede ser termoformada fácilmente en equipo convencional. Las condiciones de operación son variables dependiendo del perfil del producto a fabricar.

Cuando se quiere fabricar un envase para contener un producto con baja presión interna, la relación de estiramiento (área / profundidad) puede ser media, ya que la orientación requerida es baja, sin embargo, si el envase es para bebidas carbonatadas, entonces la relación de estiramiento es mayor,

ya que así se mejora la biorientación y con ello las propiedades mecánicas y de barrera. *(Ariosti, 1998)*

Cuando la relación de estiramiento es media, (5:1) en el sentido longitudinal del envase, se puede considerar un vacío de 10 bar y una presión de 10 bar suficientes para formar el envase. Para envases más profundos, es necesario incorporar al sistema un mandril de estirado que ayudará a la formación del envase. El tipo de mandril va a depender del espesor de la lámina y del tipo del envase.

Cuando se tiene una relación de 3:1 y la lámina es hasta de 1.5 mm de espesor, se puede utilizar un mandril de nylon o de acero recubierto con PTFE.

Para envases más profundos se deberá considerar un mandril de acero calentado con aceite a una temperatura entre 80°C, y 110°C., dependiendo de la (V.I.) y de las propiedades requeridas.

Entre más alta sea la (V.I.), serán mayores los requerimientos de temperatura. También se pueden utilizar moldes de termoformado del tipo hembra – macho.

Para obtener resultados óptimos, se pueden tener calentadores en la parte superior e inferior de la lámina, sin embargo, en la mayoría de los casos es suficiente con los calentadores superiores.

Los calentadores deben ser ajustables para proporcionar cualquier temperatura que lámina requiera, pero deben ser constantes en su comportamiento. *(Celanese, 1995)*

2.7.1 Recomendaciones para el termoformado y corte

TERMOFORMADO

- Mantener constante la temperatura de la lámina.
- Utilizar calentadores en la parte superior e inferior de la lámina.
- Controlar el ondulado de la lámina recalentada con el ajuste del tiempo de cerrado de los moldes.
- Las hembras del molde deben estar en la parte móvil de este y colocadas por debajo de la lámina.
- Sacar lentamente los envases del molde para evitar la distorsión de los mismos.
- Es recomendable que la hembra del molde se pueda separar fácilmente del envase producido.
- Los moldes con acabado mate son más fáciles de separar del producto.
- Se debe evitar tener filos marcados en las aristas del molde.

CORTE

La temperatura de la lámina debe ser lo más baja posible para evitar que se distorsione y no se doble durante el suajado o troquelado.

Las navajas deben ser de acero de alta resistencia perfectamente afiladas y ajustadas con el mínimo claro posible.

Se deben revisar periódicamente para prevenir el desgaste rápido.

Es preferible utilizar troqueles pesados para el proceso de corte de lamina PET y así facilitar la operación

2.8 Proceso de Inyección Soplado

Uno de los más recientes procesos desarrollados para la fabricación de recipientes de plástico es el de inyección soplado, este proceso brinda características muy interesantes a los recipientes.

La corona es formada en un molde de inyección, dándole a la pieza obtenida el nombre de preforma, que para el caso de las botellas de cuello angosto resultan muy parecidas a un tubo de ensayo. En la preforma se logran excelentes acabados, que para sistemas de envasado hermético resultan muy eficientes. (Terry,1996)

Una vez inyectada la preforma, esta pasa a una estación en donde es calentada, hasta lograr el punto de ablandamiento del plástico. En la etapa de soplado, un pistón estira la preforma inyectada orientando el plástico en una dirección, inmediatamente después del soplado estira horizontalmente la preforma, logrando de esta forma un envase biorientado, característica que mejora las propiedades tanto mecánicas como de barrera a gases del envase.

En la última etapa del equipo este arroja la pieza ya terminada.



Figura No. 2: Esquema de preforma-envase (Aprepet,2000)

2.8.1 Inyección

Una máquina de moldeo por inyección tiene dos secciones principales:

- La unidad de inyección
- La unidad de cierre, que aloja al molde

2.8.2 Descripción del proceso de inyección

El proceso de inyección puede ser dividido en las siguientes fases:

2.8.2.1. Secado del granulado hasta lograr que el contenido de humedad sea menor de 40 ppm.

2.8.2.2. Fusión del polímero en un equipo de inyección, utilizando de preferencia el husillo que este diseñado especialmente para PET, aunque un husillo convencional, de longitud 20:D y una relación de compresión de 3:1, puede ser de utilidad.

2.8.2.3. Inyección del material dentro de las cavidades del molde, que normalmente es de colada caliente, aunque los de colada convencional también pueden encontrar alguna aplicación.

2.8.2.4. Enfriado rápido del material dentro del molde para obtener piezas amorfas, es decir, transparentes.

2.8.2.5. Apertura del molde y expulsión de las preformas.

El proceso de inyección se realiza en maquinas llamadas de inyección, las cuales son alimentadas de pellets, que son calentados hasta su punto de ablandamiento y fusión, pasando por presión a un molde, este es enfriado a través de unos ductos que tiene los moldes por los cuales fluye agua fría, así la pieza moldeada es enfriada, de manera que cuando el molde se abre la pieza es arrojada completamente fría.

El molde es formado por una parte fija y una móvil es cerrado por acción de una prensa que efectúa el cierre con una presión de decenas de toneladas de fuerza, que abre y cierra cíclicamente cada vez que han sido formadas las piezas

La unidad inyectora de una máquina tiene tal que permita una adaptación de las funciones a las exigencias de la producción.

La amplia escala de materias termoplásticas disponibles y sus diversas propiedades de elaboración hacen problemático encontrar un diseño para una maquina universal, bajo el aspecto de las diversas tareas de producción, cuyo rendimiento no sea inferior al de las maquinas especiales para un solo uso. (Brodgy, 1997, Terry, 1996)

La unidad de cierre es básicamente una prensa que se cierra con un sistema de presión hidráulico o mecánico. La fuerza de cierre disponible debe ser bastante grande para contrarrestar la resistencia que genera el material fundido cuando se inyecta. La presión que se aplica a este material fundido, puede ser alrededor de 145 Mpa, de modo que para las piezas moldeadas tienen una gran área se requiere bastante fuerza. Se usan máquinas más grandes, que tienen fuerza de varios miles de toneladas.

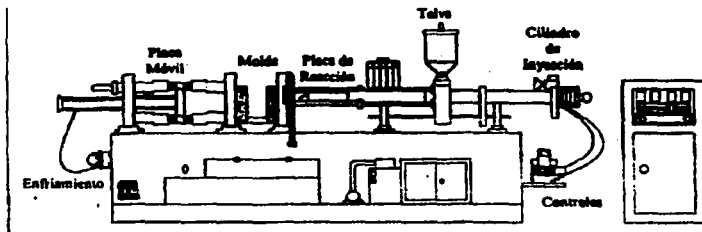


Figura No. 3: Máquina de inyección de plásticos (Aristi, 1998)

2.9 Estaciones en una Máquina de Inyección:

Las estaciones de esta máquina se describen a continuación y se muestran en la figura 4.

- A. Tolva de suministro de pellets, (1) para algunos plásticos, debido a su propiedad de absorber la humedad del medio ambiente (llamados materiales higroscópicos), hecho que impide un buen proceso de

inyección, generando piezas o productos deficientes, se requiere someterlos a un proceso de secado, que se efectúa en este punto.

B. Los pellets se calientan por medio de resistencias (3) hasta fundirse, y transportados por un husillo, que es un tornillo sinfín (2) hasta el punto de inyección (4).

C. El molde formado por una parte fija (5) y una móvil (6) es cerrado por acción de una prensa (7) que efectúa el cierre con una presión de decenas de toneladas de fuerza, que cierra y abre cíclicamente cada vez que han sido formadas las piezas.

Las estaciones de la máquina de inyección se muestran a continuación:

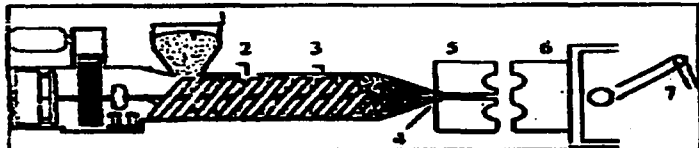


Figura No. 4: Estaciones de una máquina de inyección (Morton, 1999)

2.9.1 Elección del molde

Teniendo en cuenta los esfuerzos a soportar por los moldes la elección de material ha de efectuarse con atención. La duración de los moldes está influida principalmente por el esfuerzo mecánico debido a las fuerzas de cierre relativamente altas, junto a las presiones internas durante la inyección. Hay también un desgaste por rozamiento que plantea al constructor la cuestión de una lubricación para reducir a un mínimo la abrasión.

2.9.2 Características del material para el molde

Las exigencias de las industrias respecto al material de un molde pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Máxima resistencia a la abrasión

- Gran estabilidad de dimensiones, incluso con influencias térmicas relativamente amplias, en las condiciones de trabajo, para garantizar la exactitud de forma y dimensiones de las piezas
- Buena conductividad térmica para conseguir un buen atemperado del molde

2.9.3 Ventajas con respecto al proceso de extrusión sopleo:

- Peso constante de las piezas
- Dimensiones constantes
- Espesores constantes
- No hay desperdicios de material
- Ausencia de marcas en el cuello, estrechamiento y fondo.

2.9.4 Desventajas:

- Para cada pieza se requieren dos moldes (de inyección y de sopleo) lo cual los hace mucho mas caros que los moldes de extrusión- sopleo.
- El peso de las piezas, su espesor de pared y la distribución del espesor no pueden variarse por una simple corrección en la abertura del extrusor, como en el caso de extrusión- sopleo, sino hay que modificar los moldes.

También en este proceso pueden lograrse envases de varias capas, cuando en la etapa de inyección se colocan dos o mas husillos, creando una preforma co-inyectada, y dando al envase final una mayor resistencia Al llenado a temperaturas altas y una mayor barrea a los gases.

El proceso de inyección de las preformas es la primera etapa en la manufactura de los recipientes soplados de PET. Aunque aparentemente no

existen grandes dificultades en la fabricación de las preformas. Para la obtención de preformas excelentes se requieren varias consideraciones de las propiedades de la resina de PET y su interacción con las condiciones de operación que difieren de las de otros materiales.

El secado es la primer variable crítica para prevenir problemas en el procesamiento del PET y evitar defectos en el producto final.

2.10 SECADO DEL POLÍMERO

Debido a que la resina PET absorbe humedad, requiere de un proceso de secado antes de ser moldeado por inyección. Existen en el mercado equipos de secado de aire deshumidificado fabricados especialmente para PET.

2.10.1 Teoría sobre el secado de PET

Un requisito esencial para el proceso de la resina de polietileno tereftalato (PET), es el control cuidadoso del secado del material.

El PET en forma sólida, absorbe humedad del medio ambiente (semejante a un desecante) así, durante el almacenaje, la resina absorberá humedad hasta alcanzar el equilibrio. Este valor puede ser tan alto como 0.6% en peso, dependiendo de las condiciones del lugar donde sea almacenado. En la práctica la resina no absorbe niveles de humedad mayores a 0.2% en peso, si se mantiene en un lugar cubierto y durante periodos cortos de tiempo.

Sin embargo, para fabricar un buen producto de PET, se requiere reducir la humedad a menos de 0.004% (40 partes por millón) antes de inyectar el material.

La razón para esto, es que a temperaturas arriba del punto de fusión, el agua presente hidroliza rápidamente al polímero, reduciendo sus peso molecular así como sus propiedades características. (Aprepet, 2001)

La hidrólisis puede ocurrir en el sólido desde temperaturas tan bajas como 150°C, aunque a poca velocidad. A medida que la temperatura se incrementa, la velocidad de hidrólisis también aumenta tal y como se muestra en la Fig. 5. Existe sin embargo, un límite de temperatura máxima de secado sin causar una caída excesiva de viscosidad intrínseca (V.I.). En la práctica, desde el punto de vista económico y de eficiencia, las mejores condiciones de secado se alcanzan entre 165°C y 170°C.

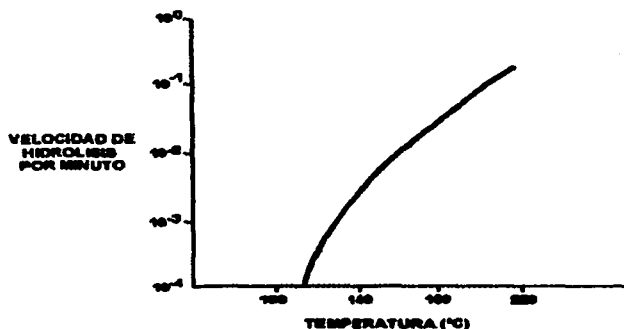


Figura No. 5: Hidrólisis del PET (Aprepet, 2001)

2.10.2 Absorción de humedad

Como ya se indicó, existe absorción de humedad del medio ambiente tan pronto como el granulado de PET sale del proceso final de su elaboración.

La velocidad de absorción depende de cuatro factores para un tamaño específico de recorte. Estos son: tiempo, temperatura, humedad atmosférica (punto de rocío) . EL PET amorfo absorbe humedad más rápidamente que el PET, cristalino. En este sentido, la alta cristalinidad natural (> 50%), confiere un reducción en la velocidad de absorción de humedad, bajo ciertas condiciones, tal y como se indica en la Fig. 6.

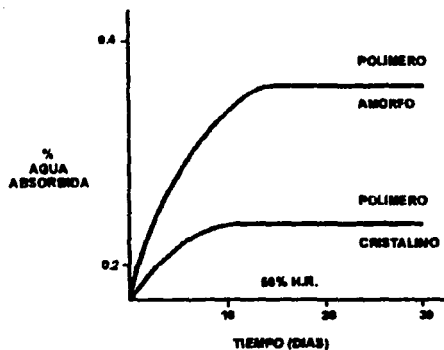


Figura No. 6: Absorción de humedad del PET (*Aprapel*, 2001)

La Fig. 7 ilustra la influencia de la temperatura y humedad del medio ambiente sobre la humedad absorbida así como la necesidad de tener cuidado con el almacenaje, el cual de preferencia debe ser bajo cubierta.

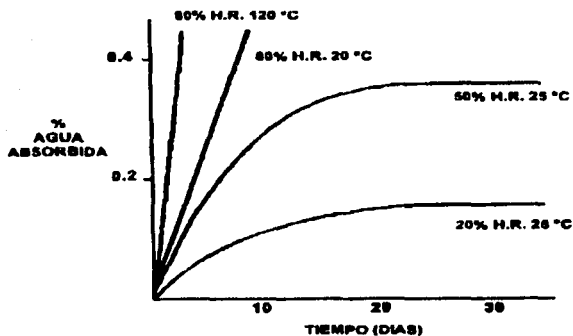


Figura No. 7: Influencia de Temp. sobre la humedad absorbida (Aprepet, 2001)

2.11 Eliminación de Humedad – Proceso de Difusión

El proceso inverso a la absorción de humedad, es sin duda el secado. En el caso de PET, la humedad contenida no sólo se encuentra en la superficie sino también absorbida por el granulado al introducirse en el interior de éste por difusión, de aquí que el secado del PET difiere de otros procesos, donde sólo la humedad superficial tiene que ser eliminada.

Debido a esta penetración de humedad, se requiere un tiempo relativamente largo de secado a temperaturas elevadas de operación.

Por otro lado, la estructura y tamaño del granulado, influye en la velocidad del secado. Esto se debe a que el paso que controla el proceso de deshumidificación, es el de difusión de agua a través del chip hasta su superficie. El tiempo de difusión se puede minimizar disminuyendo el tamaño de granulado y con un diseño que aumente el área superficial de contacto del chip con el aire de secado. (Ariosti, 1998)

Los otros tipos de transferencia de masa que ocurre en el secado de PET son:

1. La transferencia de agua a través del sistema binario sólido / gas.
2. La difusión de vapor de agua dentro de las atmósfera o medio que lo rodea.

Una precaución adicional debe ser considerada con respecto al manejo previo del chip secado antes de la inyección. Como ya se mencionó, el PET es un desecante el cual aumenta su capacidad para captar humedad cuando se incrementa la temperatura. El poliéster seco caliente puede ganar humedad a una velocidad de 5 a 10 ppm por segundo en contacto con aire ambiental, por lo que es esencial que el no sea mayor al que tiene el aire de secado. Por lo anterior se recomienda contar con un equipo de prueba para determinar el contenido de humedad retenida en el material.

2.11.1 Equipo de secado

El análisis hasta aquí efectuado sobre el secado de PET nos lleva a requerir de un equipo capaz de generar un gas (aire o nitrógeno) con un bajo punto de rocío, con control de temperatura utilizando un proceso mecánico que garantice una variación mínima de temperatura entre el granulado individual y el contacto efectivo gas / sólido. La selección puede ser entre una operación batch o en continuo. Los secadores tipo batch ya sea con cama fluidizada o por métodos rotatorios, tienen la desventaja de variar de batch a batch provocando cambios potenciales en las características del producto. Además el costo del equipo es incrementado debido a la necesidad de adquirir en forma adicional la tolva de sostenimiento. Los secadores de proceso continuo tipo columna con movimiento vertical, son usados por algunas compañías, obteniendo buenos resultados en la operación así como en el costo. Los puntos esenciales en la selección de este tipo de secador son asegurar un buen flujo del polímero, un gradiente mínimo de

temperatura entre la longitud y radio de la columna. Debido a que la resina está ya cristalizada, no se requiere de un precristalizador antes del secado tal como se requiere con el polímero amorfo. (Aprepef, 2000)

2.11.2 Requerimientos claves e implicaciones prácticas en el secado del Pet

Los detalles teóricos sobre el secado de PET son explicados en el punto 2.10.1. A continuación se presentan los aspectos más importantes para un buen proceso de secado así como los problemas prácticos y los aspectos que deben ser considerados para asegurar un proceso confiable y eficiente.

2.11.3 Requerimientos claves para un secado confiable

1. Temperatura correcta de secado.

La temperatura del chip deberá estar entre 150°C y 160°C.

2. Temperatura correcta del aire de secado.

Este no debe exceder de 180°C, medido a la entrada del aire del secador.

3. Punto de rocío correcto del aire de secado.

Este no deberá ser mayor de -30°C., siendo recomendable en la práctica valores menores o iguales a -40°C., medido a la entrada del secador.

4. Adecuado flujo de aire de secado a través del chip.

Muchos secadores operan con flujos de aire de 1pie³/ min. Para 1 lb/hr. De chip inyectado como requerimiento mínimo. Obviamente el flujo de aire debe tener la temperatura y punto de rocío adecuados.

5. Tiempo de residencia del chip (tiempo de secado) se recomienda que el tiempo de residencia para la Resina PET no sea menor a 4 horas, siendo común trabajar entre 6 y 8 horas. El tiempo de secado teórico, puede ser

calculado dividiendo la capacidad del secador (Kg.) entre la productividad de la máquina (Kg/hr).

2.11.4 Secado de Pet a 170°C.

En este sentido, un flujo de gas con bajo punto de rocío es normalmente utilizado, el cual además de mantener un diferencial en la presión parcial del agua entre la fase sólida y gaseosa, también provee de la transferencia de calor requerido en la dehumidificación. De los tres tipos de transferencia de masa involucrados, el de difusión resulta ser el que controla el proceso debido a que es el que se efectúa a mucho menor velocidad.

Otros parámetros que influyen en la velocidad de secado son la humedad y temperatura del gas utilizado, tal y como se indica en la Fig. 8, en donde se observa un incremento de la velocidad a temperaturas elevadas. Este resultado sin embargo, no es suficiente para asumir que se tienen las mejores condiciones de operación en el secado del material.

La influencia de la humedad y temperatura del gas de secado es mucho más complejo teniendo efectos significativos sobre la estructura química y propiedades finales de la resina debido a una degradación potencial del material por los procesos térmicos y de hidrólisis.

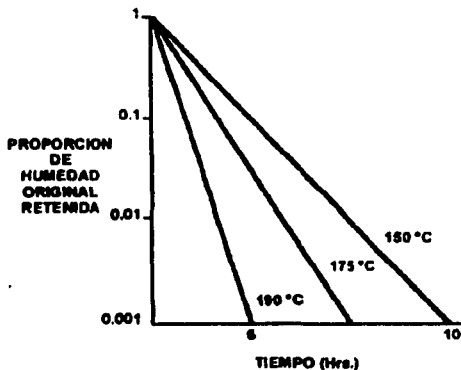


Figura No. 8: Efectos de temperatura de secado y humedad removida. (Aprepet, 2001)

2.12. Requerimientos del aire de secado

Como ya se mencionó, la velocidad en el proceso de hidrólisis con la consecuente reducción de la viscosidad intrínseca se incrementa a temperaturas arriba de 150°C., y si el proceso de transferencia de calor es más rápido que el proceso de difusión, el secado puede ser una desventaja en la operación.

Adicionalmente, si la humedad ha sido removida a temperaturas de secado mayores a 180°C se puede conducir a una degradación termo-oxidativa en donde se rompen las cadenas del polímero produciendo subproductos indeseables con la consecuente disminución de las propiedades físicas.

Entre los subproductos se encuentra la generación de acetaldehído y cambios físicos que pueden producir una apariencia turbia-blanquecina en las preformas (haze) debido a la disminución de V.I., así como una tonalidad amarillenta producida por la degradación. No obstante se recomienda

efectuar el secado entre 165°C y 170°C., con un tiempo entre 4 y 8 horas hasta lograr que el contenido de humedad del chip sea de un máximo de 40 ppm. Estas condiciones minimizarán las interacciones entre los procesos involucrados. (Celanese, 1995)

La influencia de la humedad del gas de secado a una temperatura dada es un factor que debe ser también considerado. De aquí se puede observar que el punto de rocío, el cual es una medida indirecta del contenido de humedad del gas de secado, debe ser menor a -30°C., condición que evita una elevada caída en la viscosidad sin disminuir la eficiencia del secado. En la práctica, el punto de rocío comúnmente usado para el aire es de -40°C.

2.12.1 Implicaciones prácticas

Ante todo es importante seguir las instrucciones operativas sugeridas por el proveedor del equipo. Se deben llevar a cabo los programas de mantenimiento, los cuáles están basados en una amplia experiencia. Las fallas en el equipo pueden provocar un secado ineficiente, produciendo preformas y envases fuera de especificación así como incremento en los costos de operación.

Muchos productos tales como alimentos, cosméticos y farmacéuticos entre otros, requieren materiales de empaque especiales en donde el color es un importante aspecto que debe ser considerado. El PET en este sentido es ya utilizado con éxito en colores verde y ámbar principalmente en los envases para bebidas carbonatadas y farmacéuticos, así como otras aplicaciones. Claridad y brillo son algunas de las propiedades esenciales que otorga a sus productos.

En el caso de alimentos particularmente, los requerimientos para cualquier envase de plástico son muy rigurosos; sin embargo, el PET en color ha demostrado ser un material apropiado para el manejo de los alimentos, siendo aprobado por la F.D.A., en Estados Unidos y la Secretaría de Salubridad y Asistencia a través del Sector Salud de México.

2.13 Especificaciones de los envases de Pet

Las especificaciones pueden ser evaluadas de manera sencilla y algunos casos con mayor dificultad

- Baja permeabilidad al CO₂
- No debe dilatarse el envase a más de 2%
- No debe romperse o estrellarse el envase
- Debe soportar una caída libre a una altura de 2 metros
- No debe deformarse
- La pérdida de CO₂ después de 120 días debe ser menor al 15% a 23°C en bebidas carbonatadas
- No debe bajar el nivel del líquido
- No debe haber pérdida de sabor en el caso de bebidas carbonatadas o con sabores (CCM, 2001)

2.13.1 Concentrados de color

Una de las técnicas para producir envases de PET con color, es utilizando MASTER BATCH, el cual consiste en pellets de PET con alta concentración de pigmento previamente incorporado, existe también pigmento líquido y en microesferas, básicamente las microesferas son burbujas de un polímero que funde alrededor de 80°C y que contiene en su interior una cierta cantidad de pigmento en polvo, que por contacto directo con la resina que baja del secador la burbuja se rompe, permitiendo que el pigmento se libere y se mezcle en la

garganta del extrusor con el PET.

Los concentrados de color se encuentran en el mercado en una amplia gama de colores y son adicionados al PET natural en una relación establecido por el fabricante, la que determina la intensidad del concentrado e indica la cantidad de resina natural que deben ser mezclados con el concentrado para alcanzar el color deseado. La unión del material se puede efectuar en 2 formas:

A. Solo en el caso del Master Batch Preparando la mezcla mecánicamente por agitación en algún recipiente giratorio o algún otro sistema y vertiendo posteriormente la mezcla a la tolva de secado, integrada al equipo para PET que utilice el cliente.

B. Otra forma de colorear la resina es introduciendo una cantidad constante de concentrado de color (Master Batch), microesferas o pigmento líquido a la garganta del cilindro de la unidad de inyección, uniéndose al flujo principal de resina natural, efectuándose la mezcla antes de la inyección dentro del cilindro. La mezcla opera en forma continua, aunque para poder controlar el flujo de pigmento adicionado, se emplean dosificadores para el Master Batch y Microesferas y una bomba dosificadora para el pigmento líquido, estos equipos se encuentran sincronizados con el husillo de inyección.

Los equipos pueden ser regulados para dar una cantidad constante de pigmento en la relación de la mezcla deseada.

Cambios en el color se pueden obtener rápidamente, removiendo los dosificadores de la tolva de secado.

La principal ventaja de estos sistemas, es el fácil manejo del material.

1. Secado

El secado del Master Batch asegura que no ocurra degradación del material por humedad durante el proceso de inyección. Las condiciones de secado son

iguales a las de la resina natural.

2. Viscosidad intrínseca

La Viscosidad Intrínseca (V.I.) del Master Batch es constante y lo más cercana posible a la resina natural, con el objeto de eliminar cualquier problema de caída de viscosidad durante el proceso.

3. Acetaldehído

El nivel de Acetaldehído de cualquier Master Batch es lo suficientemente bajo para asegurar que el producto final cumpla con los requerimientos establecidos y en el caso de las microesferas y pigmento líquido no hay presencia del mismo.

4. Relación de mezcla

La relación de mezcla del concentrado dependerá de la intensidad que se desee y del tipo de concentrado que se use. La resina óptima será aquella en donde se alcance el color deseado al menor costo posible.

5. Características de transmisión de luz

Uno de los factores más importantes debe ser considerado en los envases que son utilizados para el manejo de alimentos, cosméticos o productos farmacéuticos es la transmisión de la luz a través de la paredes del recipiente, debido a que se pueden ver afectadas por la radiación de los rayos ultravioleta, cuyo intervalo de longitudes de onda se encuentran entre 300 nm y 450 nm, los valores críticos que deben ser evitados.

En este sentido, se da evidencia de cómo la resina ofrece mejor protección, no obstante debe tener espesores menores a los de vidrio, lo que hace al PET un material aplicable a una gran variedad de productos. (*Aprepet, 2000*)

2.14 Control del proceso

Durante el moldeo por inyección de la preforma, se deben controlar perfectamente los siguientes aspectos:

- Retención de Viscosidad Intrínseca.
- Generación mínima de Acetaldehído.
- Transparencia máxima de la preforma.

Las ventajas principales inherentes del PET pueden quedar destruidas durante la inyección de la preforma si no se tiene una óptima operación.

2.14.1 Retención de la viscosidad intrínseca

La Viscosidad Intrínseca (V.I.) es una medida indirecta del peso molecular, o sea, del tamaño promedio de moléculas que definen al polímero. La Viscosidad Intrínseca de uso general es de 0.8 ± 0.02 dl/g que corresponde aproximadamente a 125 unidades repetidas por molécula y un peso aproximado de 24,000 g/mol. Cualquier disminución en la viscosidad del polímero en su paso de granulado a preforma, significará una reducción del peso molecular. Bajo condiciones controladas de secado y moldeo, la pérdida de viscosidad no deberá ser mayor de 0.03 dl/g. Cualquier pérdida superior a este nivel trae como consecuencia un detrimento en la transparencia de la preforma debido a un incremento en la velocidad de cristalización, acarreado la pérdida de las propiedades mecánicas del envase, particularmente la resistencia al impacto y la carga vertical aplicada sobre la tapa. (Colanese, 1995)

La pérdida de la viscosidad se debe básicamente a una degradación hidrolítica ocurrida durante el estado de fusión que es donde el agua a niveles superiores de 40 ppm tiene una acción destructiva del polímero.

Una segunda causa de la caída de V.I. es la degradación térmica durante la fusión del polímero para inyectarlo. De ahí que se debe emplear un perfil de temperaturas de modelo y velocidades de corte lo más suave posible que

permitan la obtención de preformas claras, transparentes y libres de distorsión.

2.14.2 Generación de acetaldehído

El acetaldehído (CH_3CHO) se genera en pequeñas cantidades durante el proceso de fusión de PET; la cantidad de agua presente no influye en la generación de acetaldehído. Durante la fabricación del polímero el nivel de acetaldehído se controla perfectamente, entregando un producto al mercado con un contenido de 2ppm como máximo.

El acetaldehído es un líquido volátil incoloro (punto de ebullición 20.8°C) y que se distingue por su olor a frutas. Precisamente por su olor característico, el acetaldehído ha sido empleado con mucha frecuencia en la industria alimenticia como un saborizante.

Debido a la facilidad que tiene el acetaldehído de emigrar desde la pared de la botella y difundirse en el contenido de la misma, la generación de este producto debe ser cuidadosamente controlada durante la inyección de la preforma. El agua mineral así como las bebidas de cola son particularmente sensibles al acetaldehído.

El acetaldehído se genera por la degradación térmica de las moléculas de PET mientras esté en estado de fusión, por lo que tiene una relación directa con la historia térmica del polímero.

2.14.3 Transparencia

La transparencia de la preforma está relacionado directamente con el grado de cristalinidad del polímero es decir, el PET es transparente cuando tiene una estructura molecular amorfa; y será opaco cuando esté cristalizado. Cuando el PET se encuentra a una temperatura entre los 85°C y los 250°C , las moléculas tienden a alinearse para formar una estructura cristalina.

La velocidad de cristalización es muy lenta en ambos extremos de este rango y es más rápida en el centro, o sea entre 140°C y 180°C. En el punto más alto de la curva de cristalización, alrededor de 175°C, el PET alcanza un grado visible de cristalinidad en menos de un minuto, de tal manera que el polímero debe ser enfriado dentro de la cavidad del molde lo más rápido posible.

Debido a que la conductividad térmica del PET es relativamente baja, el contenido de calor en el centro de la pared de la preforma es el principal contribuyente para tener una determinada cristalinidad en la pieza.

La tecnología actual del moldeo por inyección está limitada a un espesor máximo de 4 mm aproximadamente.

La temperatura de la masa durante el moldeo por inyección tiene un efecto significativo en la transparencia de la preforma. Mientras más elevada sea la temperatura se tendrá una mayor cantidad de cristaitos fundidos, sin embargo, no se puede elevar la temperatura en forma indiscriminada ya que se corre el riesgo de generar una cantidad indeseable de acetaldehído.

Algo similar ocurre con la viscosidad intrínseca, ya que entre mayor sea el peso molecular del polímero existe una menor tendencia a la cristalización pero debido a que se requiere una mayor temperatura de fusión se ve incrementada la generación de acetaldehído. *(Aprepet, 2001)*

2.15 PROCESO DE SOPLADO

El proceso de soplado consiste de las siguientes etapas:

- Alimentación de las preformas a los transportadores
- Calentamiento de las preformas en un horno con luz infrarroja
- Estabilización de temperatura de la preforma

- Estirado y presoplado de la preforma dentro del molde de soplado
- Soplado con aire de alta presión (30-40 bar), dentro del molde para asegurar una buena biorientación de material
- Expulsión del envase

La preforma ya en la rueda de soplado, es procesada en tres partes:

- Presoplado (6-10 bar)
- Estirado, depende de la leva
- Soplado (28-40 bar). (Apla ,2001)

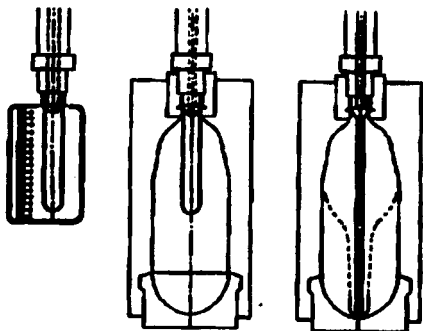


Figura No. 9: Etapas de soplado de la preforma (Apla ,2001)

En la primera fase se presentan casi en forma simultánea el presoplado y el estirado. El presoplado entra básicamente para que la preforma no se pegue a la varilla de estirado (7 bar), conforme avanza la rueda entra el soplado (40 bar) es el que hace tomar la forma del molde.

En el horno es calentada la preforma hasta una temperatura máxima de 120°C.

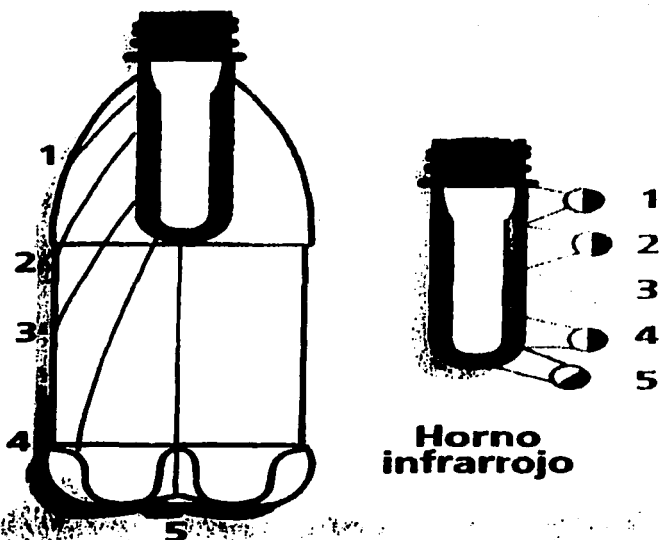


Figura No. 10: Esquema de distribución de temperaturas. (Celanese, 1995)

La siguiente figura es un ejemplo de las máquinas sopladoras existentes en el mercado; esta máquina cuenta con dos tipos de lámparas: de penetración y distribución, además cuenta con reflectores para el mejor aprovechamiento del calor.

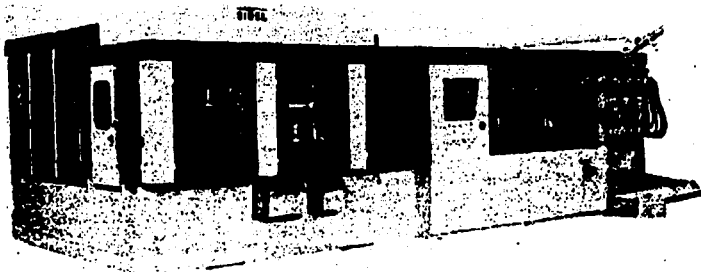


Figura No. 11: Máquina sopladora de preformas Sidel 40. (Brody,1997)

Sidel 40 es una máquina sopladora de preformas, la cuál alimenta las ruedas de transformación de preforma, alineadamente adquieren posición de acuerdo al número de cavidades de la sopladora. A la salida de la máquina las botellas se alimentan a la rueda de salida con temperaturas óptimas casi temperatura ambiente para ser alimentadas como producto terminado a los rieles de transporte.

2.16 SISTEMAS DE ELABORACIÓN DE ENVASES

Existen en el mercado dos tipos de instalaciones para fabricar envases de PET:

- Sistema integrado o de una etapa
- Sistema de dos etapas

2.16.1 Sistema integrado de una etapa

En este sistema, se realiza el moldeo de la preforma y el soplado de la misma, para obtener el envase en una sola máquina, es decir, los procesos de inyección y soplado están integrados en una misma unidad, por lo que no es necesario sacar las preformas de la máquina para que puedan ser sopladas y llevarlas a sus forma y tamaño definitivo.

2.16.2. Sistema de dos etapas

En este sistema, la primera etapa consiste en inyectar un preforma en un equipo de inyección el cual deberá tener ciertas características especiales para que pueda procesar la resina y obtener de él un rendimiento óptimo en cuanto a sus propiedades físicas y de transparencia. Sin embargo, en los equipos convencionales de inyección también puede ser procesado el material mediante un ligero acondicionamiento del equipo obteniendo preformas de calidad.

Los moldes deber ser de colada caliente cuando se trata de elevados niveles de producción y deberán tener un sistema de refrigeración muy eficiente. Estos moldes suelen tener desde 16 hasta 96 cavidades; una vez que las preformas están lo suficientemente frías para que no se deformen o se peguen entre si, son expulsadas posteriormente enviadas a donde se localice el equipo de soplado, el cual puede estar en la misma planta o en cualquier otro lugar.

La segunda etapa del proceso consiste en calentar las preformas hasta una temperatura tal que puedan ser estradas y sopladas, en un equipo de soplado de alta productividad que normalmente se encuentra localizado en las plantas embotelladoras. *(Alpla, 2001)*

2.16.3.- Aplicación de las bases

Los envases que van a contener bebidas con CO₂, como refrescos, agua mineral o cerveza, deben estar diseñados de tal manera que puedan soportar hasta 5 volúmenes de dióxido de carbono. Esto significa que deberán tener un fondo que soporte dicha presión sin deformarse; los diseños más empleados para tal efecto ha sido el de forma esférica en la base y actualmente los de fondo petaloide.

Para poder parar las botellas de forma esférica se hace necesaria la utilización de bases que pueden ser de polietileno o polipropileno. Para productos que no contengan CO₂ suelen emplearse botellas de base plana.

Para productos que no contengan CO₂, suelen emplearse botellas de base plana o normal donde no se necesita una base adicional. *(Aprepet, 2001)*

2.16.4.- Comparación entre los dos sistemas de fabricación

• VENTAJAS DEL PROCESO EN DOS ETAPAS

- 1. Adecuado para grandes producciones, más de 30 mil millones de envases / año.**
- 2. Permite centralizar la producción de preformas para suministrarlas posteriormente a las plantas de soplado.**
- 3. Las máquinas para el soplado de envases pueden ser adquiridas por separado, lo que permite:**
 - (i) Adquisición de preformas, evitando así las dificultades técnicas de la fase de producción de las mismas**
 - (ii) Menor monto de la inversión inicial antes de adquirir la instalación para la producción de preformas**

(iii) Ideal para la producción múltiple en las plantas empleando un centro productor de preformas.

VENTAJAS DEL PROCESO EN UNA ETAPA

- Menor inversión inicial.**
- Dado que la capacidad es inferior, permite un aumento escalonado de la producción e inversión.**
- Adecuado para varios tipos de productos, o para capacidades de producción bajas, con diseños de envases más complejos, bocas anchas y multicapas.**

CAPITULO III.- PROBLEMÁTICA DURANTE LA ELABORACIÓN DE ENVASES Y ALTERNATIVAS

Durante el proceso de elaboración de envases de Pet empleados para bebidas carbonatadas se presentan diversos problemas y a su vez se van identificando los puntos críticos más importantes a considerar, con el fin de obtener un envase de excelente calidad.

En este capítulo se describe la problemática que existe durante la elaboración de la preforma y de la elaboración del envase mediante el soplado de la preforma y a su vez se proponen algunas alternativas. También se muestran algunas de las especificaciones que se tienen como requisito de los envases de Pet para contener bebidas carbonatadas; así como las pruebas a las que se debe someter un envases para decidir si cumple con los estándares de calidad.

Para adentrarnos a la problemática que existe durante la elaboración de los envases de Pet es conveniente conocer la nomenclatura más empleada con que se define una botella de PET.

3.1.- Nomenclatura de los envases de PET

-Caída en el punto de llenado: corresponde a la diferencia entre el nivel de llenado de la botella al momento de la evaluación y el nivel de llenado nominal. La caída del punto de llenado es un aspecto que se debe cuidar con especial interés ya que el consumidor normalmente relaciona el nivel de llenado con la capacidad volumétrica del producto que adquiere.

-Gate: zona inferior de la botella que se encuentra alrededor del punto de inyección. Normalmente esta zona es de forma circular y junto con el punto de inyección asemejan una forma de ombligo.

-Push Up : cuando el gate presenta un desnivel de profundidad con respecto a la zona de transición, este es conocido como push up. Normalmente el gate de las botellas debe ser de este tipo, a menos que se haya eliminado con el propósito de incrementar la resistencia de la base.

-Punto de mecimiento (rocker bottom): es un punto de inestabilidad de la botella llena, el cual se forma cuando la presión interna empuja el pus-up más allá de la parte baja e los petaloideas, lo cual ocasiona que la botella al ser colocada sobre una superficie totalmente plana no se pueda mantener estable (de pie) por si misma.

-Zona de transición: parte inferior de la base de la botella situada entre los petaloideas y la región del gate

-Talón: el diámetro mayor de la parte baja de la botella, el cual se ubica entre la parte superior de la besa y la cintura

-Panel; área del cuerpo del panel de etiqueta, corresponde a la pared lisa central, sobre la cual es colocada la etiqueta

-Hombro: corresponde al diámetro mayor de la parte superior de la botella, ubicada sobre el borde superior del panel de la etiqueta.

-Cuello: región ubicada entre el hombro y el anillo de soporte.

-Cintura: diámetro menor ubicado entre el borde inferior del panel y el talón. Para el caso de las botellas contour, a ese diámetro se le conoce como diámetro de Pinch. (CCM₃,2000).

En la siguiente figura se muestra el esquema del cuerpo de la botella.

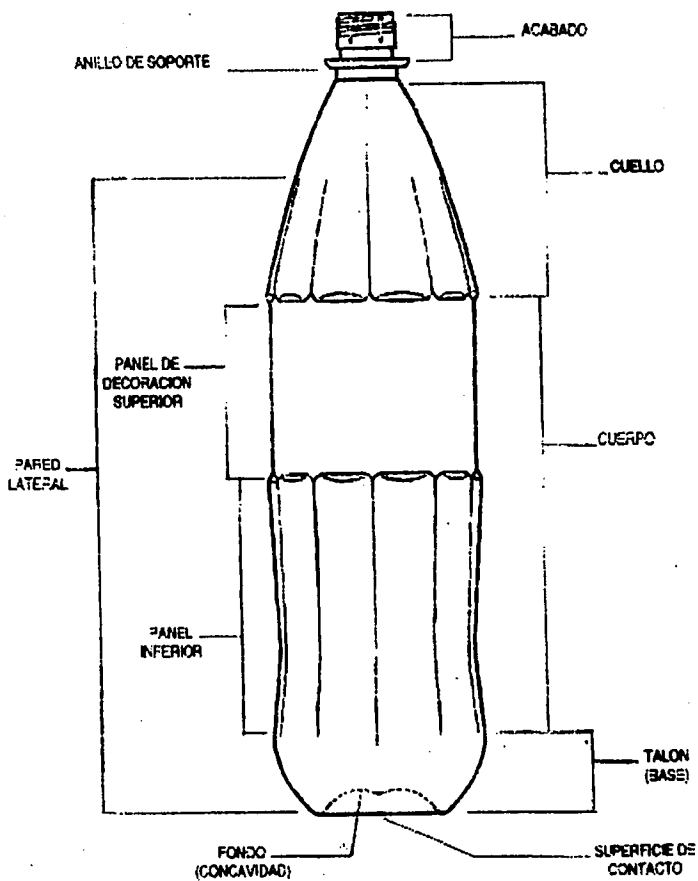


Figura No. 12: Partes principales de la botella (CCM, 2000)

3.2 Principales problemas considerados durante el secado del Pet

Durante el almacenamiento de la resina de Pet está absorbe humedad del medio ambiente alcanzando valores de hasta 0.6% en peso, sin embargo para producir un buen producto de Pet se requiere reducir esta humedad a menos de 0.004% (40 ppm) antes de inyectar el material.

Desde el punto de vista económico y de eficiencia, las mejores condiciones de secado se alcanzan entre los 145 y 150 °C en un tiempo de 4 horas mínimo.

En una operación eficiente, con un buen cumplimiento de los requerimientos básico del secado, los problemas deben ser mínimos, sin embargo, los siguientes puntos deben ser considerados:

1.-Filtro del aire.

La limpieza en los filtros en forma rutinaria es esencial. Los filtros protegen al desecante del polvo. Se debe tener mucho cuidado para no dañar los filtros, lo que disminuirá su eficiencia en el secado.

2.-Mal funcionamiento.

Si ocurre algún bloqueo o falla mecánica del enfriador del aire, se provoca una pérdida de la eficiencia en la capacidad de regeneración del desecante, incrementándose el punto de rocío y disminuyendo su capacidad de captación de humedad.

3.-Fallas del calentador.

Las fallas en el calentador de aire pueden presentarse debido a:

- a) Incapacidad para alcanzar la temperatura correcta de secado y/o
- b) Incapacidad para alcanzar la temperatura adecuada para la regeneración del desecante.

4.-Ingreso del aire ambiental.

Este se aplica particularmente a sistemas que emplean succión para transportar el chip. El aire del medio ambiente siempre estará húmedo comparado con el gas de secado. Si alguna cantidad de este aire es introducido en el sistema, se producirá una variación en el punto de rocío y por lo tanto en la eficiencia del secado. Bajo estas circunstancias, en el caso de remover un componente del secador, se debe tener cuidado al reensamblar la parte, colocando empaques adecuados y probando el sistema contra fugas.

5.-Transporte del chip seco.

Si el secador no está colocado encima del inyector, es esencial que los granulados de PET sean transportados con aire seco con una temperatura y punto de rocío equivalente al gas de secado. De no hacerlo así se puede provocar la humidificación del granulado con los subsecuentes efectos negativos sobre su procesamiento, claridad del producto y degradación hidrolítica.

3.3 Pruebas de recepción de la preforma

Siguiendo el modelo del sistema integrado de dos etapas en donde la resina del polietileno tereftalato es procesado hasta obtener una preforma para posteriormente pasar por un proceso de soplado ó una vez hecha la preforma es distribuida a las empresas que así lo requieran, por lo cuál es importante considerar las pruebas que se le deben realizar a la preforma antes de ser soplada para evaluar si cumple con los requisitos de calidad y decidir si es aceptada por la industria embotelladora; las pruebas a realizar se describen a continuación y son realizadas a nivel laboratorio.

• Pruebas visuales

Las preformas no deben presentar contaminación, agua, grasa, pintura, polvo, materiales extraños, mezclados con el PET.

-Cristalinidad

-Tono de pigmentación fuera de especificaciones

-Cuerda deforme

-Cierre marcado

-Punto de inyección deforme a lo largo, cavidades sucias, burbujas, deformaciones generales ni infundibles.

Una característica natural del PET es su tendencia a cristalizar, por lo que para prevenir la cristalización de las preformas el PET debe ser enfriado rápidamente.

El proceso de enfriado tiene que ser rápido para obtener piezas transparentes.

Una de las propiedades más a favor del PET con otros materiales es su transparencia la cual se compara con la del vidrio; así que, si la preforma de Pet tiene buena transparencia es buen indicio de que el material ha sido bien procesado.

La transparencia de la preforma está relacionada directamente con el grado de cristalinidad del polímero, es decir, el PET es transparente cuando tiene una estructura molecular amorfa, y será opaco cuando esté cristalizado.

Lo que se busca para envasar bebidas carbonatas en envases de PET es que el envase tenga la transparencia adecuada, ya que la opacidad en las botellas es un defecto a considerar para rechazar el producto.

• **Pruebas organolépticas**

Las preformas no deben presentar olores extraños, por ejemplo, humedad, insecticidas u otros.

• **Pruebas dimensionales**

Verificar los diámetros y altura de la preforma, por ejemplo; para elaborar envases de 600 ml y 2000 ml para su empleo en bebidas carbonatadas, las preformas que se emplean son de 52 y 54 gramos respectivamente (Alpta, 2001).

Una de las propiedades a considerar que va ligada con el peso final de la preforma, es la viscosidad intrínseca. Cualquier disminución en la viscosidad del polímero en su paso de granulado a preforma, significará una reducción del peso molecular.

La viscosidad intrínseca de la resina de uso general es de 0.81 dl/g que corresponde a 125 unidades repetidas por molécula y un peso aproximado de 24,000 g/mol. La pérdida de viscosidad no debe ser mayor de 0.03 dl/g, cualquier pérdida superior trae como consecuencia un detrimento en la transparencia de la preforma debido a un incremento en la velocidad de cristalización.

La viscosidad intrínseca se controla con un secado correcto previo a la inyección.

3.4 Pruebas de laboratorio efectuadas a la botella

• **Inspección de apariencia y color / claridad**

Se obtiene una botella de cada molde y se realiza el siguiente análisis:

Distribución de material, oprimiendo ligeramente la superficie del envase para revisar si la rigidez es uniforme en toda la superficie y verifica que no se presente lo siguiente:

- Cuello deforme

-Exceso de material en el fondo

-Color y claridad

En el caso de botellas transparentes destinadas a embotellar bebidas carbonatas, la concentración de acetaldehído en las botellas recién sopladas debe cumplir las siguientes especificaciones:

+Clase de resina: Transparente, ERH 2904 (grado resina soplado) resina 86 N con ligera cristalinidad y ERH 1405 resina 1101 con ligera opacidad alrededor del punto de inyección. Estas resinas se emplean elaborar preformas destinadas a envases de 600 y 2000 ml.

+Promedio: Máximo 3.0 microgramos/lt

+Individual: 4.0 microgramos/lt

Observar con detenimiento para verificar que no se presente:

-Variación en la tonalidad

Para el color claridad las botellas deberán tener color y claridad acorde con los límites o estándares acordados con el cliente embotellador.

• Prueba de volumen

Realizar la prueba de volumen al punto de llenado a través del peso, relacionado con la densidad del líquido.

El peso de las botellas deben cumplir con el indicado en el plano de tolerancias de 1 gramo máximo, por ejemplo, para envasar bebidas carbonatadas de 2 litros el peso máximo de la botella es de 128 gramos y el mínimo es de 126 gramos.

• Medición de espesores de pared

Verificar el espesor de la pared de las botellas para garantizar que la estabilidad de la botella y la distribución del material estén dentro de especificaciones.

Una botella debe contar con una pared lo suficientemente resistente para almacenar bebidas carbonatadas.

El espesor de pared va ligado con las propiedades de barrera, ya que las capas que componen la estructura del envase permiten solo diminutos orificios por los cuales una pequeña cantidad de CO₂ puede escapar.

El espesor mínimo recomendado es:

Para botellas de 2 litros, es espesor mínimo individual es de 2.0 mm, con una variación máxima de 0.4 mm.

A continuación se presenta una tabla con los espesores mínimos de pared para la botella de PET (todos los datos en milímetros)

Tabla No. 7: Espesores de pared de la botella

Región de la pared de la botella	2 litros	1 litro	600 ml
Región del gate	1.55	1.22	1.3
Zona de transición	1.55	1.22	1.3
Parte inferior de los petaloideas	0.2	0.13	0.2
Talón	0.25	0.023	0.35
Panel	0.25	0.25	0.35
Hombro	0.25	0.23	0.35
Cuello	0.3	0.26	0.35
Cintura	0.3	0.3	0.4

(CCM₂,2001)

• Superficies

Observar con detenimiento para verificar que no presente:

-Contaminación

La botella decorada debe estar libre de imperfectos tales como manchas de mugre, burbujas, resina sin fundir, marcas de condensación, cristalinidad, contaminación, hendiduras, etc.

•Altura y perpendicularidad

Realizar la medición de altura y perpendicularidad de la botella para comprobar que los parámetros de la máquina son los correctos para cumplir con las especificaciones del cliente.

La capacidad de la botella a la altura de llenado (medida desde la parte superior de la boca hacia abajo) sin presión interna, deberá estar dentro de los siguientes límites:

Botella 2 lt - Individual: 1998/2026

-Tolerancia (ml) promedio mínimo: 2000/2008

Tabla No. 8: Especificaciones de capacidad de llenado

Tamaño	Especificación individual	Especificación promedio
Botellas de 1 litro o menores	± 1.25 % de la capacidad nominal	± 0.75 % de la capacidad nominal
Botellas de + de 1 litro	± 1.0 % de la capacidad nominal	± 0.5 % de la capacidad nominal

(CCM, 2000)

•Presión interna

Realizar la prueba de presión interna con el fin de asegurar que la botella tenga resistencia a la presión de llenado.

Toda botella destinada a contener bebidas carbonatadas debe resistir una presión interna mínima de 150 psia durante 60 segundos, no debe presentar roturas ni deformaciones.

La botella debe someterse conteniendo agua a punto de llenado a una presión de 80 psia a temperatura de 24°C durante 60 segundos. La diferencia de alturas de llenado antes y después de la prueba no debe exceder de 1.5 mm. Se repite el mismo procedimiento sometiendo las muestras a una presión de 80 psia, la diferencia máxima no deber ser mayor de 2.5 mm.

• **Resistencia al impacto**

Efectuar la prueba de resistencia al impacto asegurando con esto, que la calidad del envase generada sea suficiente para el manejo del consumidor debido a impactos, desembarques, transporte, etc.

Las botellas llenas normalmente con productos a 4.0 volúmenes de carbonatación a 24 °C , no deben fallar cuando se dejan caer de cualquier modo, excepto sobre la boca, de una altura de 1 metro sobre una base de concreto a temperaturas entre 1.7 °C y 37.8 °C.

• **Prueba de carga vertical**

Verificar que al realizar la prueba de carga vertical la botella sea lo suficientemente fuerte para soportar fuerzas de compresión a una velocidad determinada.

La carga vertical mínima que debe resistir una botella vacía es de 55 KG (121 libras) sin resquebrajarse o deformarse.

• **Prueba de claro de base**

Asegurar que la botella sea lo suficientemente resistente en su parte inferior cuando el envase sea expuesto a temperaturas relativamente altas y posea estabilidad.

• **Prueba de estabilidad térmica**

Verificar que la botella sea lo suficientemente resistente para soportar los efectos de la presión interna generada por el CO₂ cuando las botellas sean llenadas a 4.15 +/- .05 y las multiproducto al máximo volumen de carbonatación y son sometidas a 2 °C durante 24 horas, después del llenado, así como a 38°C durante 24 horas adicionales. (Alpla, 2001)

Las botellas empleadas para envasar bebidas carbonatadas deben siempre presentar una excelente imagen, la cual constituye un factor importante en la preferencia del consumidor.

No deben ser aceptadas aquellas botellas con problemas de scuffing (desgaste), aperlamientos que contrasten con el color de la bebida, defectos en el finish o anillo de soporte los cuales puedan afectar el sellado de la tapa, la integridad del consumidor o cualquier otra afección en el proceso de transporte o llenado en la planta embotelladora. Cualquier otro defecto que constituya un riesgo en la resistencia mecánica de la botella (plastas o excesos de material en la base de la botella por ejemplo) no debe ser aceptado. (CCM₃, 2000)

3.5 Principales defectos en las botellas:

- **Desgaste:** Una botella PET está desgastada cuando la banda de uso, más ancha de 6 mm se extiende alrededor de más del 50% de circunferencia.
- **Burbujas:** Cualquier inclusión de aire dentro del plástico
- **Perlescencia:** Apariencia lechosa del plástico en la zona des pétalos de la botellas, ocasionando una mala orientación del material. La posible causa puede ser que durante el proceso, hay corrientes de aire frío lo cual provoca una alteración en la temperatura ambiente y, por consiguiente en la estabilidad del proceso
- **Punto de inyección descentrado:** La protuberancia del punto de inyección no deberá presentar un descentrado de más de 2 mm.
- **Otro problemas que frecuentemente se presenta es que existen restos de grasa o aceite en producto terminado, la causa puede ser que la preforma se**

contamina con grasa o aceite proveniente de la inyección o levantada del piso; otra posible causa es que hay grasa en las túnelas, varillas de estrado, toberas, unidades de soplado y transportador.

• En las siguientes ilustraciones se muestran los defectos más comunes clasificados por atributo que se presentan en un envase terminado.

• Los defectos críticos son los que pueden producir condiciones peligrosas o inseguras para quienes usan o mantienen el producto. Es también el defecto que puede llegar a impedir el funcionamiento o el normal desempeño de una función importante de un producto del cual depende la seguridad del personal.

• Se consideran defectos mayores, aquellos que sin alterar la calidad del producto, tiene la probabilidad de ocasionar una falla o de reducir materialmente la utilidad de la unidad para el fin al que se le destina.

• Los defectos menores son aquellos que no reducen materialmente la utilidad de la unidad para el fin a el que está destinada o que provoca una mala apariencia que deteriore la imagen del producto, con pequeño efecto reductor sobre el funcionamiento o uso eficaz de la unidad.

BOCA INCOMPLETA

Boca que no fue formada completamente.



TSS DAÑADO

Golpe en la parte exterior de la superficie de selle.



BOCA DESALINEADA

Desnivel en la rosca de la botella.



BURBUJA

Inclusiones de aire dentro del plástico. Se considera defecto crítico cuando tiene un diámetro mayor de 2 mm o presenta más de una burbuja.



DEFECTOS MAYORES

CONTAMINACION

Partículas extrañas que están incluidas dentro del plástico mayores a 1 mm.



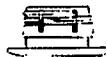
CUELLO DEFORME

Exceso de plástico en el cuello ocasionando una mala distribución del material.



ROSCA DAÑADA

Cualquier malformación o golpe en la rosca.



EMPATES PRONUNCIADOS

Exceso de plástico en la unión de los moldes. (Máximo: 0.13 mm por lado).

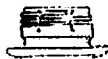
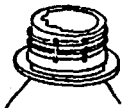


Figura No. 13: Defectos más comunes en las botellas(CCM₂,2001)

REBABA INTERNA



Son proyecciones horizontales del plástico en la parte interna de la superficie de sellado.

REBABA EXTERNA



Son proyecciones horizontales del plástico en la parte externa de la superficie del sellado.

IRREGULARIDADES EN LA SUPERFICIE



Rayaduras, golpes o diferentes clases de marcas o izados, que afectan la apariencia de la botella, según muestra límite.

MATERIAL SIN FUNDIR



Son puntos blancos que aparecen en cualquier parte de la botella.

FONDO DESIGUAL



Imperfecciones del fondo, donde una parte de la superficie de apoyo es muy gruesa y la otra muy delgada.

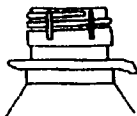
FONDO DEFORME



Malformaciones de la botella en la parte cóncava del fondo.

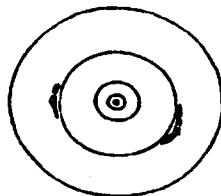
Figura No. 13: Defectos más comunes en las botellas (continuación)
CCM₂,2001)

ARO DE SOPORTE DAÑADO



Anillo de soporte deformado o roto.

RAYADURAS EN LA SUPERFICIE DE APOYO



OPACIDAD



Apariencia lechosa del plástico, que ocasiona una mala orientación del material

ONDULACIONES



Serie de marcas horizontales en la superior de la botella.

Marcas o huellas de molde mayores a 3mm.

Figura No. 13: Defectos más comunes en las botellas (continuación)
CCM₂,2001)

DEFECTOS MENORES

FIGURA DEFORMADA



Botellas torcidas o malformadas fuera de diseño característico.

HENDIDURAS



Cualquier rugosidad o depresión que aparece en el cuerpo de la botella.

CONTAMINACION EXTERNA



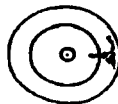
Suciedad externa de grasas o aceites, polvo, productos químicos no asociados al proceso de manufactura de la botella.

MATERIAL QUEMADO



Plástico de color amarillento, principalmente en el fondo de la botella.

BABEO



Filamentos de plástico que se depositan alrededor del punto de inyección.

Figura No. 13: Defectos más comunes en las botellas (continuación)
CCM₂,2001)

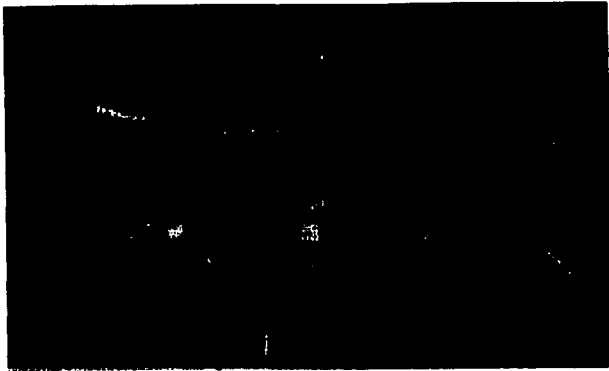


Figura No. 14: Botella con exceso de material en el fondo (Alpla, 2001)

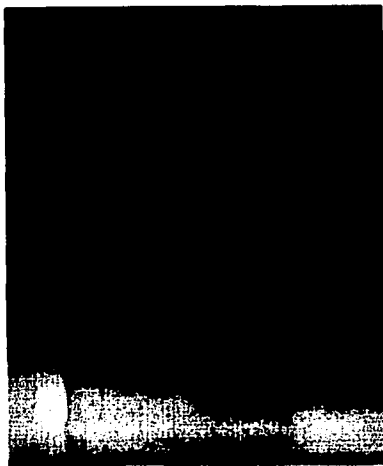
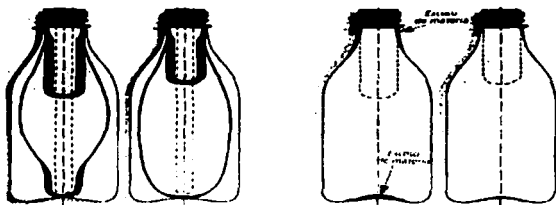


Figura No. 15: Botella abierta (Alpla, 2001)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

A continuación se ilustran algunos de los defectos más comunes que hay durante el soplado de la preforma para la elaboración de envases:



Formación de burbuja durante el presoplado *Preforma larga* *Preforma corta*

Figura No. 16: Formación de burbuja en el presoplado y exceso de material. (Celanese, 1995)

Las botellas llenadas a 4.00 ± 0.5 volúmenes de CO_2 , hasta el punto de llenado, debidamente selladas, y acondicionadas a 22°C durante 24 horas; y luego a 38°C durante 24 horas adicionales, deben cumplir las siguientes especificaciones, sin importar las condiciones de humedad relativa en las que sean almacenadas.

Debido a la memoria de las botellas de PET N.R. (tendencia de recuperar su forma original) es necesario considerar que en general las botellas dejan de contraerse en un periodo de 72 horas, por lo que la capacidad de las mismas disminuirá ligeramente durante los primeros tres días después del soplado, a menos que los moldes de soplado estén configurados para llenar en línea con las operaciones de embotellado, en cuyo caso la memoria es despreciable. Para la medición de la capacidad deben tomarse en cuenta estos tiempos en cuenta para saber el momento adecuado de medición. (Alpla, 2001)

Tabla No.9: Especificaciones de condición de almacenamiento

Criterios	2000 ml	600 ml	1000 ml
El porcentaje máximo en los incrementos de diámetro es:	3.00%	2.50%	2.50%
El porcentaje máximo en los incrementos de altura es:	3.50%	3-0%	3.00%
simple vista			
La caída del punto de llenado deber no debe ser mayor que:	40 ml	24 ml	30 ml

(CCM₂,2001)

3.6 Principales fallas en el proceso y recomendaciones

Como se menciona en el capítulo anterior el sistema integrado de dos etapas consta de dos procesos, en el primero se trabaja a la resina de Pet y se inyecta en moldes para obtener la preforma; y el segundo proceso consiste en el soplado de la preforma para obtener el envase de Pet.

A continuación se muestran algunas fallas que pueden existir durante estos dos procesos, así como las posibles causas y algunas alternativas a considerar.

Los puntos que se presentan a continuación corresponden para envases destinados para contener bebidas carbonatadas.

3.6.1 Moldeo por inyección:

3.6.1.1 Principales fallas en el proceso y recomendaciones:

- 1.- Piezas incompletas
- 2.- Piezas con mucha rebaba
- 3.- Piezas con rebaba por un lado e incompletas por el otro
- 4.- Piezas con burbujas o deformaciones

- 5.- Piezas con paredes no uniformes; descalibración
- 6.- Piezas con poca resistencia en el punto de inyección
- 7.- Piezas torcidas o deformadas
- 8.- Piezas con poca resistencia al impacto (quebradizas)

3.6.2 Causas posibles

1.- Piezas incompletas:

- A. Falta de plastificación del material; subir temperatura
- B. Poca presión de inyección; aumentarla
- C. Boquilla no adecuada para el artículo; orificio pequeño
- D. Venas del molde muy reducidas
- E. Molde muy frío
- F. Mala dosificación del material; aumentarla

2.- Piezas con mucha rebaba:

- A. Muy alta temperatura de plastificación; bajarla
- B. Alta presión de inyección; bajarla
- C. Poca presión de cierre de molde
- D. Molde gastado o torcido; rectificar
- E. Verificar dosificación de material

4.- Piezas con burbuja o deformaciones:

- A. Falta de escape del aire residual en el molde
- B. Material húmedo o contaminado con aceite o algún gas

5.-Piezas con paredes no uniformes:

- A. Mal acoplamiento del molde
- B. Mal diseño del molde en el reparto del flujo
- C. Boquilla mal acoplada o con fuga
- D. Venas de flujo tapadas

6.- Piezas con poca resistencia en el punto de inyección:

- A. Demasiada presión de inyección
- B. Falta de enfriamiento de molde
- C. Ciclo muy corto

7.- Piezas torcidas o deformadas:

- A. Demasiada presión de inyección
- B. Ciclo muy corto
- C. Falta de enfriamiento en el molde

8.- piezas con poca resistencia al impacto:

- A. Demasiada temperatura de plastificación
- B. Muy baja temperatura de molde
- C. Ciclo muy corto

3.6.2.1.- Variables en el proceso de inyección

- Presión de sostenimiento
- Velocidad del husillo
- Temperatura del extrusor
- Temperatura del molde
- Temperatura de las boquillas (cavidades)
- Tiempo del ciclo
- Temperatura del agua de enfriamiento
- Presión de inyección
- Temperatura del aceite hidráulico

3.6.3 Posibles alternativas moldeo por inyección

Tabla No. 10: Alternativas en el proceso de moldeo por inyección

Fallas más comunes	Piezas incompletas	Piezas con rebaba	Piezas torcidas	Piezas con burbujas	Falta de brillo	Poca resist. al agrietamiento	Poca resist. al impacto
Temperatura de boquilla	x	.					
Temperatura de molde	xx	..	x		x	x	x
Presión de inyección	x	.	..	x		..	
Tiempo de inyección	xx	..				.	
Tiempo de enfriado	xx		xx				
Dosificación de material		.					
Escape de aire del molde				xxx			
Precisión de cierre de molde		xx					

Aumentar poco (x) Regular (xx)
Al máximo posible (xxx)

Disminuir poco (*) Regular (**)
Al máximo posible (***)

(Morton, 1999)

3.7 Moldeo por soplado

3.7.1 Principales fallas en el proceso y recomendaciones:

- 1.- Rugosidad externa en el envase (aparición de cáscara de naranja)
- 2.- Rugosidad interna en el envase
- 3.- Envase abierto o debilidad en la línea de unión
- 4.- Envase descalibrado que presenta variación en el espesor
- 5.- Desperdicio de material por rebaba muy grande
- 6.- Envase pasado de peso
- 7.- Envase con falta de peso

8.- Demasiada rigidez en el envase

9.- Envase con falta de resistencia al impacto (quebradizo)

10.- Rayas en el envase

Recomendaciones:

1.- Rugosidad externa en el artículo:

- A. Requiere incremento en la temperatura de plastificación principalmente en el cabezal y dado; verificar si las resistencias están funcionando bien
- B. Mala terminación en la parte interna del molde, mal pulido o poroso
- C. Ampliar la apertura de los labios del dado; si esta es muy reducida, ocasiona la rugosidad
- D. Bajar la velocidad de extrusión para evitar el esfuerzo de corte en los labios del dado
- E. Verificar el pulido interno del dado
- F. Agregar aditivo deslizante al material a fin de mejorar el pulido del parison (preforma) si es permitido por el producto
- G. Material no adecuado para el tipo de envase o el mismo se encuentra contaminado

2.- Rugosidad interna en el envase:

- A. Asegurar las mismas recomendaciones del punto uno.
- B. Si no se elimina la rugosidad, se recomienda poner resistencia en el mandril o torpedo (pieza interna del dado); esto es necesario sobre todo cuando se trata de envase grande que requiere mayor diámetro del parison.

3.- Envase abierto o debilidad en la línea de unión

- A. Mal ajuste del cierre del molde; cuando un molde ya tiene tiempo de uso se requiere de una rectificación a fin de sellar mejor la línea de unión

- B. Mala nivelación de las dos mitades del molde; verificar si las guías están muy gastadas o flojas, así mismo si las cavidades de las mismas tienen residuos de Polietileno que eviten un buen acoplamiento
- C. Falta de rebaba o muy corta, para mejorar la resistencia en el asiento del envase es conveniente vigilar el tamaño de la rebaba para un buen sello en ese punto
- D. Demasiada presión del aire: el aire del inflado debe tener una presión adecuada solo la necesaria para llenar las cavidades del molde
- E. Parison muy delgado para las dimensiones del envase; es conveniente aumentar la apertura en los labios del dado o incrementar dosificación

4.- Envase descalibrado

- A. Verificar la temperatura del cabezal; es probable que se encuentre muy alta, lo que ocasiona que se cuelgue el parison dando lugar a la descalibración del envase
- B. También un mal acoplamiento de la válvula de soplado con el molde puede ocasionar que el envase resulte con paredes descalibradas
- C. De ser posible reducir la distancia del molde al dado, cortando el parison mas al ras, a fin de evitar en lo posible que este se cuelgue
- D. Bajar la temperatura del cabezal para que el material salga un poco mas frío evitando con ello alargamiento en el parison
- E. Verificar si el material es adecuado; es posible que tenga mas fluidez de la necesaria

5.- Rebaba demasiado grande

- A. Bajar temperaturas en general, pero sobre todo la del cabezal
- B. Bajar velocidad del husillo,, reduciendo así la dosificación del material
- C. Aumentar la velocidad de cierre del molde hasta conseguir una rebaba adecuada
- D. Material no adecuado, es probable que tenga alta fluidez, para el tipo de envase

6.- Envase pasado de peso

- A. Cierra un poco la apertura de los labios del dado para reducir el espesor del parison
- B. Bajar la velocidad de extrusión, reduciendo así la dosificación del material
- C. Incrementar la temperatura del cabezal

7.- Envase con falta de peso

- A. Aumentar la apertura de los labios del dado
- B. Aumentar velocidad de extrusión, incrementando con ello la dosificación del material

8.- Envase demasiado rígido

- A. Reducir el espesor de las paredes del envase cerrando la boquilla

9.- Envase con falta de resistencia al impacto

- A. Temperatura de plastificación muy elevada; a muy altas temperaturas el material se torna quebradizo
- B. Verificar si el material se encuentra contaminado con otro polímero
- C. Mala distribución del peso molecular del material

10.- Rayas en el envase

- A. Para este problema es casi seguro que el cabezal se encuentra sucio; desarmarlo y limpiarlo
- B. Verificar si la boquilla del dado se encuentra maltratada; si es así requiere rectificación
- C. Material contaminado con elementos extraños polietileno
- D. Demasiada presión de aire; el aire inflado debe tener una presión adecuada, la necesaria para llenar las cavidades del molde

3.7.2 Variables en el proceso de soplado

.Temperatura de plastificación

Es la temperatura a la cual sale el material del dado y de ella dependerá el tiempo necesario para enfriar la pieza antes de salir del molde; también influye dicha temperatura, con la buena calibración de las paredes del artículo debido al alargamiento que puede sufrir la preforma, lo mismo sucede con la apariencia superficial del artículo.

Al incrementar variables tales como temperatura de extrusión y ciclo de moldeo, mejora el brillo del artículo, pero disminuye la economía de la operación, por requerir mayor tiempo de enfriamiento.

En el diseño de botellas y recipientes se recomienda evitar los ángulos agudos y las esquinas, dando con esto mayor resistencia en estas áreas críticas. Hay que evitar que los sistemas de manejo o llenado de botellas las sometan a cargas o esfuerzos en el cuello.

3.7.2.1 Posibles alternativas moldeo por soplado

Tabla No. 11: Alternativas en el proceso de moldeo por soplado

Fallas más comunes	Piezas incompletas	Piezas rayadas	Piezas muy rígidas	Espesor de paredes no unif.	Pieza delgada del fondo	Falta de brillo
Temperatura del extrusor	xx			x	.	x
Temperatura del dado	x	xx			..	x
Limpieza de dado		xxx				
Ajuste de molde	x			xxx		
Presión de aire	x					
Pulido del molde		xx				xxx
Fulidez del material	x	x			..	xx
Densidad del material			...			x

(Morton, 1999)

Aumentar poco (x) Regular (xx)
Al máximo posible (xxx)

Disminuir poco (.) Regular (..)
Al máximo posible (...)

3.8.- Factores más importantes a considerar durante la elaboración de envases de Pet

1.- SECADO

Es la primera variable crítica para prevenir problemas en el procesamiento del PET y evitar defectos en el producto final.

Un secado inadecuado puede dar como consecuencia una disminución del peso molecular (en otras palabras una reducción del tamaño de las cadenas moleculares del PET), por lo tanto una disminución de la viscosidad intrínseca (VI) del material, que es una medida del peso molecular. Esto puede causar un incremento en la opacidad lo cual requerirá un aumento en las temperaturas del barril del extrusor lo que podrá provocar niveles altos de

acetaldehído en las preformas y amarillez o decoloración en las botellas sopladas.

Una caída de la VI de los pellets a la preforma indica una reducción del peso molecular debido al proceso de inyección. Esta disminución de la VI, puede tener un efecto adverso en el procesamiento y las propiedades de la pieza moldeada, como son: disminución de la resistencia del recipiente final, una alta opacidad debido a una mayor cristalinidad de la preforma, entre otras.

2.- VISCOSIDAD INTRÍNSECA

Como se mencionó anteriormente, la viscosidad es una medida de resistencia al flujo que tiene una sustancia, y es una propiedad fundamental que frecuentemente determina el uso final, como también las características de procesamiento de los materiales poliméricos (plásticos)

La viscosidad del PET determina algunas de las más importantes propiedades finales de desempeño de los recipientes del PET, como su resistencia a la deformación bajo carga, propiedades de barrera a los gases, apariencia, etc. En el procesamiento del PET es importante evitar una gran caída de viscosidad, debido a que algunas de las propiedades del producto final dependen de eso.

3.- ACETALDEHÍDO

El acetaldehído es un gas muy volátil que se genera durante la etapa de plastificación del PET dentro de la unidad de inyección.

La formación de acetaldehído se ve favorecida por un mal secado y por alta temperatura en el extrusor.

Es de suma importancia el control y cuantificación del acetaldehído ya que este puede cambiar el sabor de las bebidas de cola.

4.- VELOCIDAD DE SOPLADO

La velocidad de soplado puede afectar tanto a la superficie del producto terminado, como a la resistencia en las líneas que forman las secciones del molde. En efecto a velocidades altas de soplado el aire residual no logra salir y queda atrapado en forma de burbuja entre la pared del molde y el artículo.

CONCLUSIONES

El sistema integrado de dos etapas es un modelo complejo e interesante ya que el proceso abarca desde la de formación de preforma hasta que se obtiene un envase terminado.

Durante el desarrollo de este trabajo se mostraron los puntos a cuidar durante el proceso así como las especificaciones bajo las que se debe trabajar para que el envase terminado pueda contener bebidas carbonatas.

El sistema integrado de dos etapas es el más conveniente para las industrias embotelladoras de bebidas carbonatadas, ya que representa muchas ventajas, como por ejemplo: se evita la problemática de trabajar las resinas de PET principalmente, ya que la preforma llega directamente a la planta de soplado que en este caso debe estar dentro de la planta embotelladora, para así tener un proceso continuo, y así los problemas se reducen al estudio de la problemática que hay durante el soplado de la preforma.

Cabe mencionar que las especificaciones mostradas en este trabajo, así como las fotografías referenciadas a envases contenedores de bebidas carbonatadas fueron empleadas bajo previa autorización de la empresa sopladora de Preformas (Alpa de México), así como de la industria embotelladora de refrescos (CCM).

ANEXO 1

Especificaciones de envases de Pet para bebidas carbonatadas

A continuación se muestra una tabla de las principales especificaciones para envases de PET empleados en bebidas carbonatadas:

Especificación	Descripción
Diseño	El diseño de la botella será compatible con los sistemas convencionales de producción y distribución utilizados para las botellas de refresco de plástico y vidrio. En particular la botella no deberá ser afectada ni marcada por etiquetas adhesivas, lubricantes del transportador y lubricantes del capsulador.
Lavado	Las botellas cumplirán los requerimientos especificados por la Sociedad de Tecnólogos de Refrescos cuando se ensucien, de acuerdo con el mismo estudio y se laven a 58 °C +/- con concentración de cáustico de 2.6%+- 2% para un tiempo de contacto de 7 minutos.
Color	Todas las botellas nuevas tendrán un color y una claridad (perfección y transparencia) que esté dentro de los límites o estándares. Las botellas usadas tendrán un color y una transparencia (opacidad) que esté dentro de los límites especificados por la compañía.
Dimensiones	Las tolerancias de las dimensiones son las siguientes para cada una de las botellas: Altura: +/- 0.3%, Diámetro: +/- 0.5%
Terminado	Las preformas y las botellas deben apegarse a la última revisión del dibujo del fabricante de la preforma/botella que ha sido presentado y aprobado por la compañía. El acabado se formará por completo y no tendrá orillas filosas, proyecciones, rebabas, o cualquier otra irregularidad que afecte negativamente la retención de carbonatación, el torque de remoción, el cerrado o el venteo del terminado, o la comodidad del consumidor, cuando el producto se consume directamente de la botella. Excepto por daños ocasionados por abuso, las dimensiones del acabado permanecerán dentro de las tolerancias especificadas en el dibujo durante la vida útil de la botella. Adicionalmente, los cambios en el terminado debidos a la edad, ciclos y uso normal, no afectarán negativamente en el desempeño de terminado, incluyendo la aplicación del cierre, el torque de remoción, la retención de carbonatación y la operación de apertura. Cualquier cambio de proceso o post-proceso realizado por el fabricante para minimizar el enoquimiento del terminado, fracturas por esfuerzo, ect. En las botellas cicadas, no incrementará la susceptibilidad del terminado al año.

(CCM, 2000)

ANEXO 1 (continuación)

Especificaciones de envases de Pet para bebidas carbonatadas

Especificación	Descripción
Decoración permanente	La decoración permanente de la botella tendrá diseño proporcionado por escrito por la compañía embotelladora; el proveedor solo utilizará los métodos de aplicación del decorado y materiales aprobados por la compañía. La botella permanecerá estéticamente aceptable con respecto a las muestras límite enviadas y autorizadas por la compañía. El proceso de aplicación no debe comprometer la calidad organoléptica de la botella.
Decoración de la etiqueta	El material de la botella y el diseño del panel de la etiqueta serán adecuados para el etiquetado con papel y la remoción de la etiqueta. La botella no se dañará por los adhesivos que sean aprobados para su uso, tanto sobre botellas de plástico como de vidrio.
Sabor	El peso requerido estará claramente marcado en el dibujo que proporciona la compañía al proveedor. El peso real del envase no variará de la medida aprobada por más de ± 1.0 gramos No habrá sabor o cambio de sabor del producto, del sabor original, debido al contacto con el recipiente cuando el empaque se exponga a cualquier temperatura entre 1.7°C y 26.7°C a cualquier humedad relativa, durante seis meses. O 37.8°C cualquier humedad relativa durante 7 días. Las determinaciones de sabor se harán según los procedimientos de prueba aprobados por la compañía. Este estándar será cumplido por una botella limpia en todo momento.
Acetaldehído	La concentración de acetaldehído de botellas recién sopladas, hechas con resinas cristalinas, será la siguiente: 1.- El máximo en cualquier botella individual, no será de más de 5 microgramos/ft, medido por el método estándar de análisis del espacio vacío a las 24 horas. 2.- El máximo en todas las botellas individuales de botellas, no será de más de 25 microgramos/ft, medido por el método de la preforma molida.
Exposición a gases y vapores	El producto en una botella sellada permanecerá en buenas condiciones para tomar, y el sabor del producto será el mismo que el original después de exponer el envase a gases o vapores, tales como insecticidas, encontrados típicamente en el campo. Esta especificación se cumplirá durante la vida del envase.
Pérdida de peso	La pérdida de peso del contenido no excederá del 1% en seis meses.
Durabilidad	La botella llena no mostrará demasiadas fracturas por esfuerzo u otros cambios que afecten su habilidad para desempeñarse adecuadamente bajo condiciones normales de producción, manejo y distribución
Resistencia a la presión interna	La botella soportará un mínimo de presión interna de 10.3 bar (150 psi) a cualquier humedad relativa y a cualquier temperatura, entre 1.6°C y 60°C durante 60 seg. sin fallar
Rigidez	La botella será lo suficientemente rígida como para permitir manejar, abrir y servir fácilmente el producto sin derrame.
Resistencia del anillo de soporte	La botella mantendrá suficiente resistencia en el anillo de soporte para funcionar, como se pretende, en las operaciones de llenado, capsulado y decapsulado.

(CCM₃,2000)

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Alpa de México. Manual de Soplado de botella Pet. Pruebas de Calidad. Tuxtlián Estado de México, 2002.
- 2.- Aprepet, Boletín técnico. El Pet y el ambiente (Pet packaging, resin and recycling). Año 2 No.2 . 2001
- 3.- Aprepet 1, Boletín técnico. El Pet y el ambiente. Año 2 No. 2. 2001
- 4.- Aprepet 2-3 .Boletín técnico. El Pet y el ambiente. Año 1 No. 1. 2000
- 5.- Ariosti A., Manual de Ingeniería y diseño de envases y embalajes, 1998
- 6.- Barragán, Rubén F. Manual práctico para la industria del polietileno. Tecnología y procesos, 1997
- 7.- Brody A.L., KS Marshal. Encyclopedia of packaging technology, Ed. John Wiley , Inc. USA 1997
- 8.- CCM1 Manual de calidad de bebidas carbonatadas, México Santa Fe, 2001
- 9.- CCM2 Nomenclatura de la botella plástica retornable, México, Santa Fe, 2001
- 10.- CCM3 Manual de calidad de Botella Ref Pet, México, Santa Fe, 2000

BIBLIOGRAFÍA

11.- Grupo Celanese. Instrucciones de trabajo de soplado de Preformas, México, 1995

12.- Continental Pet Technologies. Especialidades tecnológicas S.A. de C.V. Pachuca Hidalgo, 2001

12.- Irvin Rubin, Materiales plásticos. Propiedades y aplicaciones, Editorial Limusa, 1996

13.- Morton Jones D.H. Procesamiento de los plásticos, Ed. Limusa, México D.F., 1999

14.- Rodríguez, Diplomado de ingeniería y diseño de envases y embalajes, 1990

15.- Terry L. Richardson, Lokensgard. Industrial Plastics. Theory and applications, Third edition, 1996