



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

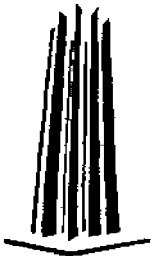
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
FES ARAGON**

**“DESARROLLO DE PREFORMAS
MEDIANTE RESINA PET”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO
P R E S E N T A N :
LEAL GARCIA JOSE LUIS
VILLEGAS NOLAZCO JORGE

ASESOR: ING. FEDERIQUE JÁUREGUI RENAUD



SAN JUAN DE ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO

2005.

m. 344361



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Entrego a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNSA a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE Leal García José Luis

FECHA: 20/04/05
FIRMA: [Firma]

Entrego a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNSA a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE Jorge Villegas Molazco
FECHA: 20/04/2005
FIRMA: Jorge Villegas

Agradezco a quienes estuvieron conmigo ofreciéndome su apoyo para realizar mi trabajo de titulación.

A MIS PADRES

A quienes tanto amo les agradezco de manera muy especial que hayan depositado su confianza en mí ya que con su esfuerzo y dedicación han podido darme la oportunidad de estudiar y ser alguien en la vida. Siendo esta la herencia más valiosa que pueden dejarme.

A mi papa que con sus consejos y apoyo me ha ayudado a alcanzar mis metas y realizar mi titulación

A mi mama que todos los días me manda sus bendiciones desde el cielo y que yo tanto quiero y extraño.

A MI ESPOSA

Que la amo, te agradezco por compartir su vida a mi lado y por ese apoyo que me brinda día a día juntos formando una familia. Por su amor, apoyo, comprensión, para realizar mi trabajo de tesis. Gracias

A MI HIJO

Que es la dicha más grande que tengo y por el cual ningún esfuerzo será en vano para seguir adelante.

A MIS HERMANOS

ROSA, LORENA, JAQUELINE, OSCAR Y ENRIQUE les agradezco por estar a mi lado siempre y por ese apoyo incondicional que siempre me brindan. Los amo

A MI COMPAÑERO

Por la oportunidad que me dio por compartir y realizar esta tesis. Por el apoyo, dedicación y esmero que tuviste. Gracias

Jorge Villegas Nolazco

Agradezco infinitamente a todas las personas que estuvieron a mi lado ofreciéndome su apoyo para que pudiera realizar mi trabajo de titulación.

A MIS PADRES

Les agradezco por el apoyo que me han brindado durante toda mi vida por haberme inculcado valores y darme la oportunidad de tener una carrera profesional y apoyarme para mi titulación.

José Luis Leal Garcia

DESARROLLO DE PREFORMAS MEDIANTE RESINA PET

I.- PLASTICOS

II.- EL PET COMO MATERIAL UTILIZADO PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PREFORMAS

III.- OBTENCIÓN DE PREFORMAS MEDIANTE EL MOLDEO POR INYECCIÓN.

IV.- EVALUACION DE PROPIEDADES DE LA PREFORMA

V- RESINAS MODIFICADAS

VI.- EL PET Y SU SITUACION ACTUAL EN EL DISTRITO FEDERAL

VII.- CASO PRÁCTICO

CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXO

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1 PLASTICOS

páginas

1.1 Etimología, Origen e Historia Evolutiva del Plástico.-----	1
1.1.1 Evolución.-----	2
1.1.2 Características generales de los plástico.-----	4
1.1.3 Tipos de polímeros.-----	6

CAPITULO 2.

EL PET COMO MATERIAL UTILIZADO PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PREFORMAS.

2.1 El Pet.-----	9
2.1.1. Fabricación del pet.-----	11

CAPITULO 3.

OBTENCIÓN DE PREFORMAS MEDIANTE EL MOLDEO POR INYECCIÓN.

3.1 Descripción del proceso.-----	14
3.1.1 Control del proceso .-----	15
3.1.2 Detalles teóricos del secado pet.-----	18
3.1.3 Detalles prácticos del secado pet.-----	23
3.1.4 Concentrados de color.-----	27

Capítulo 4

EVALUACION DE PROPIEDADES DE LA PREFORMA.

4.1 propiedades mecánicas.-----	29
4.1.1 Propiedades físicas.-----	30
4.1.2 Propiedades térmicas.-----	31
4.1.3 Procesabilidad.-----	32
4.1.4 Propiedades químicas.-----	33
4.1.5 Envejecimiento.-----	34
4.1.6 Pruebas de permanencia.-----	34

Capítulo 5

Resinas modificadas

5.1 Acetaldehido.-----	37
5.1.1 Envases asimétricos.-----	37
5.1.2 Resina modificada "BST".-----	38
5.1.3 Resina modificada "LBS".-----	39
5.1.4 Preformas Carbónicas.-----	45
5.1.5 Preformas Agua.-----	51
5.1.6 Preformas Aceite.-----	54

Capítulo 6.

EL PET Y SU SITUACIÓN ACTUAL EN EL DISTRITO FEDERAL

6.1 Aspectos generales	55
6.1.1 Identificación de plásticos.....	58
6.1.2 Marco legal y financiero.....	58
6.1.3 Producción de plásticos.....	60
6.1.4 Consumo de productos envasados en PET.....	62
6.1.5 Producción de PET y algunas consideraciones ambientales.....	64
6.1.6 Postconsumo de envases de PET.....	66
6.1.7 La composición de los residuos sólidos.....	67
6.1.8 Manejo de los residuos sólidos en el Distrito Federal.....	68
6.1.9 Datos estadísticos sobre el PET.....	70
6.1.10 Efectos potenciales al ambiente.....	71
6.1.11 Usos y aplicaciones del PET reciclado.....	71
6.1.12 Opciones para el reciclaje de PET.....	73

Capítulo 7

CASO PRÁCTICO

7.1 Puntos negros.....	77
7.1.1 Burbujas.....	77
7.1.2 Variaciones en el espesor de la pared.....	78
7.1.3 Marcas de cierre de molde o rebaba.....	79
7.1.4 Tiro corto "preformas incompletas".....	80

CONCLUSIONES- RECOMENDACIONES.....	82
------------------------------------	----

ANEXO.....	83
------------	----

BIBLIOGRAFÍA.....	85
-------------------	----

OBJETIVO Y FUNCION SOCIAL

La Ingeniería Mecánica tiene como objetivo analizar, diseñar y fabricar los elementos y equipos de los sistemas productivos con los que estos satisfactorios sean funcionales, rentables y de alta calidad optimizando el uso de materiales y energía conservando siempre sus principios éticos y la preservación del medio ambiente.

En la Ingeniería Mecánica se investiga, diseña, desarrolla, produce, construye, opera, mantiene y controla tanto las herramientas y elementos de máquina, como las máquinas y los equipos de los sistemas productivos de industrias manufactureras y de servicios. Así como los sistemas de conversión de energía, usando métodos matemáticos, físicos y químicos, adquiridos por el estudio y la experiencia, usando herramientas de Ingeniería, como el Dibujo y la Computación.¹

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica.

INTRODUCCIÓN

En la economía mundial, los materiales de plástico desempeñan un papel importante que cada día se acrecienta más. Una de las principales razones es que los plásticos poseen propiedades que no se encuentran, ya sea en forma aislada o combinadas entre sí, en ningún material que ofrece la naturaleza. Algunas de estas propiedades son su elasticidad, maleabilidad, resistencia química y mecánica, impermeabilidad, resistencia al enmohecimiento, facilidad para el trefilado, entre otros.

Debido a sus cualidades, los plásticos se emplean en muchas ramas de la ingeniería (construcción, electrónica, aeronáutica, iluminación, automotores, etc.) así como en la fabricación de numerosos objetos domésticos. También se usan en la industria de las fibras artificiales, del caucho sintético, de vidrios y cristales orgánicos, de adhesivos y muchos otros.

En los últimos años, la industria del plástico ha venido sustituyendo al resto de los diversos materiales. Ya que en cualquier lugar civilizado en el que nos encontremos podemos ver que esta presente en sus muy variadas formas.

En el transcurso de la evolución tecnológica se estimó la posibilidad de introducir a los materiales plásticos en el envase de bebidas gaseosas, agua purificada y otros productos, donde el dominio del vidrio y los materiales metálicos parecía indiscutible ya que no presentaba competencia alguna para seguir manejando el mercado.

Las principales características que el plástico debía cumplir eran varias: presentar alta transparencia para proporcionar buena presentación al producto envasado; resistencia mecánica a presiones internas para el caso de líquidos ingresados a presión; cumplir con los requerimientos con los que cumplía el vidrio; alta resistencia a impactos producidos durante las labores de producción, transporte y distribución del producto; precio menor al vidrio con productividades iguales o mayores.

Las dificultades parecían excesivas, sobre todo en el caso de la impermeabilidad y la presión que debía de soportar; sólo se podía aspirar a resolver el problema con grandes espesores de pared o complicados métodos de Extrusión.

Inclusive, era contraproducentes al analizarlas en transparencia, productividad y costo, por ello se descartaban como alternativas factibles.

El desarrollo de una modificación a los procesos de Extrusión e Inyección o Soplado, así como la investigación de nuevos grados de resinas que cumplieran con las propiedades mecánicas y de permeabilidad impuestas por las características de los productos a envasar, resolvieron los problemas para la sustitución de vidrio y metales, en campos en que parecían irremplazables.

En el capítulo 1 hablaremos un poco de la historia del plástico y conocer parte de sus orígenes hasta nuestros días. El desarrollo de los plásticos surge cuando se descubrió que las resinas naturales podían emplearse para elaborar objetos de uso práctico. Estas resinas como el betún, la gutapercha, la goma laca y el ámbar, son extraídas de ciertos árboles, y se tienen referencias de que ya se utilizaban en Egipto, Babilonia, la India, Grecia y China.

En América se conocía otro material utilizado por sus habitantes antes de la llegada de Colón, conocido como hule o caucho. El hule y otras resinas presentaban algunos inconvenientes y por lo tanto, su aplicación resultaba limitada. Sin embargo, después de muchos años de trabajos e investigaciones se llegaron a obtener resinas semisintéticas, mediante tratamientos químicos y físicos de resinas naturales. Se puede decir que la primera resina semisintética fue el hule vulcanizado, obtenida por Charles Goodyear en 1839 al hacer reaccionar azufre con la resina natural caliente. El producto obtenido resultó ser muy resistente a los cambios de temperatura y a los esfuerzos mecánicos. A mediados del siglo XIX, el inventor inglés Alexander Parkes obtuvo accidentalmente la nitrocelulosa, mediante la reacción de la celulosa con ácido nítrico y sulfúrico, y la llamó "Parkesina", que con aceite de ricino se podía moldear. Sin embargo debido a su flamabilidad, no tuvo éxito comercial.

El siglo XX puede considerarse como el inicio de "La Era del Plástico", ya que en esta época la obtención y comercialización de los plásticos sintéticos ha sido continuamente incrementada y el registro de patente se presenta en número creciente. La consecución de plásticos sintéticos se originó de la Química orgánica que se encontraba en pleno auge.

En 1920 se produjo un acontecimiento que marcaría la pauta en el desarrollo de materiales plásticos. El químico alemán Hermann Staudinger aventuró que éstos se componían en realidad de moléculas gigantes. Los esfuerzos dedicados a probar esta afirmación iniciaron numerosas investigaciones científicas que produjeron enormes avances en esta parte de la química. En las décadas de 1920 y 1930 apareció un buen número de nuevos productos, como el etanoato de celulosa (llamado originalmente acetato de celulosa), utilizado en el moldeo de resinas y fibras; el cloruro de polivinilo (PVC), empleado en tuberías y recubrimientos de vinilo, y la resina acrílica, desarrollada como un pegamento para vidrio laminado.

Uno de los plásticos más populares desarrollados durante este periodo es el metacrilato de metilo polimerizado, conocido en México como plexiglás. Este material tiene unas propiedades ópticas excelentes; puede utilizarse para gafas y lentes, o en el alumbrado público o publicitario. Las resinas de poliestireno, comercializadas alrededor de 1937, se caracterizan por su alta resistencia a la alteración química y mecánica a bajas temperaturas y por su muy limitada absorción de agua. Estas propiedades hacen del poliestireno un material adecuado para aislamientos y accesorios utilizados a bajas temperaturas, como

en instalaciones de refrigeración y en aeronaves destinadas a los vuelos a gran altura. El PTFE (politetrafluoretileno), sintetizado por primera vez en 1938, se comercializó con el nombre de teflón en 1950. Otro descubrimiento fundamental en la década de 1930 fue la síntesis del nylon, el primer plástico de ingeniería de alto rendimiento.

No es casualidad que los plásticos hayan sido desarrollados en este siglo. La extraordinaria tasa de crecimiento demográfico mundial, la globalización de los mercados, las crisis relacionadas con los recursos naturales no renovables a raíz de los sucesivos conflictos bélicos, exigían la necesidad de un material versátil, de bajo costo y que pudiera dar respuesta a las múltiples necesidades del hombre moderno. Específicamente en el caso de los envases, los plásticos permiten envasar, conservar y distribuir alimentos, medicamentos, fertilizantes, sangre, plasma, etcétera, a una cada vez mayor cantidad de habitantes en forma segura, higiénica, económica y práctica.

Poco se dice de cuánto colaboran los plásticos en evitar la pérdida de alimentos, y cuánto contribuyen a mejorar la calidad de vida de millones de personas que viven alejadas de los grandes centros urbanos, y que de no ser por los envases plásticos se haría muy difícil la distribución de alimentos de manera eficaz.

En el capítulo 2, Se presenta el material utilizado para la elaboración de la preforma. Siendo la resina PET (tereftalato de polietileno) el principal componente derivado del petróleo ya que las materias primas derivadas del petróleo son tan baratas como abundantes. No obstante, dado que las existencias mundiales de petróleo tienen un límite, se están investigando otras fuentes de materias primas, como la gasificación del carbón.

En un principio, la mayoría de los plásticos se fabricaban con resinas de origen vegetal, como la celulosa (del algodón), el furfural (de la cáscara de la avena), aceites (de semillas), derivados del almidón o el carbón. La caseína de la leche era uno de los materiales no vegetales utilizados. Hoy en día se utilizan los derivados del petróleo por todas las características que los hacen estar al día en la fabricación de recipientes para diversos productos como: bebidas gaseosas, aceites comestibles, agua, conservas, gel, miel, mayonesa, licores; así como, productos en polvo y líquidos en general. Presenta considerablemente una excelente transparencia, y cuenta con características muy específicas de acuerdo a su aplicación.

En el capítulo 3, se presentan algunos de los aspectos más importantes sobre el moldeado por inyección de la preforma fabricada con resina.

Abordamos a las Técnicas o tecnologías empleadas para conseguir la forma final y el acabado de las preformas.

Se hace la descripción del proceso y el control del proceso que debe seguirse para la obtención de la preforma plástica.

En el capítulo 4 desarrollamos una evaluación de las preformas poniendo de manifiesto las características que estas ofrecen así como sus mejoras. La evaluación de productos plásticos es un mecanismo para determinar la calidad en los productos.

La evaluación permite:

- Tomar decisiones acertadas para la modificación de procesos, productos o cambios de materia prima
- Conocer mejor los productos, ver sus fortalezas y debilidades

A su vez la evaluación toma en consideración las diferentes propiedades a productos terminados, los cuales se realizan siguiendo métodos implantados según normas correspondientes internacionalmente reconocidas.

En el capítulo 5, abordamos las resinas modificadas donde podemos ver que las cualidades del PET en cuanto a procesabilidad, transparencia, consistencia mecánica y barrera, han determinado su rápido crecimiento en el sector del envasado de bebidas; no obstante, para que el PET desarrolle toda su potencialidad es preciso someterlo a un proceso de biorientación que induce un orden molecular del que dependen en gran medida las propiedades finales de los envases

En el capítulo 6 vemos como se encuentra el estado actual del PET en el Distrito Federal. Este diagnóstico pone en perspectiva la situación actual de los residuos de PET en el Distrito Federal y pretende unificar la información disponible de las diferentes instancias involucradas, a fin de fungir como una herramienta de consulta para cualquier público. Sirviendo además como base para la formulación de un programa específico que atienda esta problemática en particular.

El PET (tereftalato de polietileno) es uno de los materiales comúnmente utilizados en la industria embotelladora de bebidas y del embalaje por sus características muy particulares que favorecen la distribución, el almacenaje y la presentación de algunos productos. Derivado de los altos niveles de consumo de estos productos, se tiene también grandes cantidades de residuos.

La Dirección General de Servicios Urbanos del Gobierno del Distrito Federal, reporta una disposición final de plásticos de 761.9 ton/día, dentro de éstas, 14.1 toneladas pertenecen a envases hechos de PET ocupando espacios innecesarios en las celdas de confinamiento del relleno sanitario de Bordo Poniente y con un tiempo de vida media muy largo. Según datos manejados por el PNUMA en 1996, una botella de PET tarda en degradarse 500 años dentro de un tiradero.

A lo largo de los 25 años que lleva en el mercado, el PET se ha diversificado en múltiples sectores sustituyendo a materiales tradicionalmente

implantados o planteando nuevas alternativas de envasado impensables hasta el momento.

A pesar del reciclaje, la vida útil del plástico no es infinita. Ante esta situación se propone aunque existen opiniones contrarias la alternativa de los plásticos degradables (fotodegradables y biodegradables) que presentan características similares a las de los plásticos sintéticos. Su descomposición en dióxido de carbono y agua, sustancias no ofensivas al ambiente, depende de diversos factores tales como el clima, el espesor del material y la materia prima empleada, entre otros.

El uso del plástico en nuestra vida diaria da como resultado que se tenga que investigar mas afondo en cada uno de los aspectos de fabricación, a fin de que estos satisfagan las necesidades y sean seguros de emplear.

En el capitulo 7, se hablara sobre casos o situaciones, que comúnmente se presentan en el proceso de inyección de la preforma así como de los pasos a seguir para poder solucionarlos. Veremos que durante el proceso de inyección de la preforma se llegan a presentar problemas que no solo se atribuyen a una mala operación de los equipos o maquinas de inyección por parte del operador (aunque este ultimo sea el caso de error mas común que se presenta en el proceso). También se consideran aspectos que se llegan a presentar y que son ajenos a la persona que maneja estos equipos, en todo caso lo realmente importante de este punto es que tan rápido se detecte el problema y se le aplique una solución.

CAPITULO 1

Plásticos

1.1 Etimología, Origen e Historia Evolutiva de los Polimeros

Etimología

Los polímeros, las moléculas básicas de los plásticos, se hallan presentes en estado natural en algunas sustancias vegetales y animales como el caucho, la madera y el cuero, si bien en el ámbito de la moderna tecnología de los materiales tales compuestos no suelen encuadrarse en el grupo de los plásticos, que se reduce preferentemente a preparados sintéticos.

- La definición enciclopédica dice lo siguiente:

Materiales poliméricos orgánicos (los compuestos por moléculas orgánicas gigantes) que son plásticos, es decir, que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno y el nylon. Los materiales empleados en su fabricación son resinas en forma de bolitas o polvo o en disolución. Con estos materiales se fabrican los plásticos terminados.

El término Plástico, en su significación mas general, se aplica a las sustancias de distintas estructuras y naturalezas que carecen de un punto fijo de ebullición y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarias a diferentes formas y aplicaciones. Sin embargo, en sentido restringido, denota ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales.

Origen

El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860, cuando el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa de 10.000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural, destinado a la fabricación de bolas de billar. Una de las personas que compitieron fue el inventor norteamericano Wesley Hyatt, quien desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol. Si bien Hyatt no ganó el premio, su producto, patentado con el nombre de celuloide, se utilizó para fabricar diferentes objetos detallados a continuación. El celuloide tuvo un notable éxito comercial a pesar de ser inflamable y de su deterioro al exponerlo a la luz.

El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, amazonas de lentes y película cinematográfica. Sin éste, no hubiera podido iniciarse la industria cinematográfica a fines del siglo XIX. Puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.

En 1909 el químico norteamericano de origen belga Leo Hendrik Baekeland (1863-1944) sintetizó un polímero de interés comercial, a partir de moléculas de fenol y formaldehído. Este producto podía moldearse a medida que se formaba y resultaba duro al solidificar. No conducía la electricidad, era resistente al agua y los disolventes, pero fácilmente mecanizable. Se lo bautizó con el nombre de baquelita (o bakelita), el primer plástico totalmente sintético de la historia.

Baekeland nunca supo que, en realidad, lo que había sintetizado era lo que hoy conocemos con el nombre de copolímero. A diferencia de los homopolímeros, que están formados por unidades monoméricas idénticas (por ejemplo, el polietileno), los copolímeros están constituidos, al menos, por dos monómeros diferentes.

Otra cosa que Baekeland desconocía es que el alto grado de entrecruzamiento de la estructura molecular de la baquelita le confiere la propiedad de ser un plástico termoestable, es decir que puede moldearse apenas concluida su preparación. En otras palabras, una vez que se enfría la baquelita no puede volver a ablandarse. Esto la diferencia de los polímeros termoplásticos, que pueden fundirse y moldearse varias veces, debido a que las cadenas pueden ser lineales o ramificadas pero no presentan entrecruzamiento.

Entre los productos desarrollados durante este periodo están los polímeros naturales alterados, como el rayón, fabricado a partir de productos de celulosa.

1.1.1 Evolución

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década del 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el polipropileno (PP).

Al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo. Al agregarles diversos aditivos se logra un material más blando, sustitutivo del caucho, comúnmente usado para ropa impermeable, manteles, cortinas y juguetes. Un plástico parecido

al PVC es el politetrafluoretileno (PTFE), conocido popularmente como teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes.

Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico.

También en los años 30 se crea la primera fibra artificial, el nylon. Su descubridor fue el químico Wallace Carothers, que trabajaba para la empresa Dupont. Descubrió que dos sustancias químicas como el hexametildiamina y ácido adipico, formaban polímeros que bombeados a través de agujeros y estirados formaban hilos que podían tejerse. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán.

En la presente década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases.

La Segunda Guerra Mundial

Durante la Segunda Guerra Mundial, tanto los aliados como las fuerzas del Eje sufrieron reducciones en sus suministros de materias primas. La industria de los plásticos demostró ser una fuente inagotable de sustitutos aceptables. Alemania, por ejemplo, que perdió sus fuentes naturales de látex, inició un gran programa que llevó al desarrollo de un caucho sintético utilizable. La entrada de Japón en el conflicto mundial cortó los suministros de caucho natural, seda y muchos metales asiáticos a Estados Unidos. La respuesta estadounidense fue la intensificación del desarrollo y la producción de plásticos. El nylon se convirtió en una de las fuentes principales de fibras textiles, los poliésteres se utilizaron en la fabricación de blindajes y otros materiales bélicos, y se produjeron en grandes cantidades varios tipos de caucho sintético.

El auge de la posguerra

Durante los años de la posguerra se mantuvo el elevado ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos. Tuvieron especial interés los avances en plásticos técnicos, como los policarbonatos, los acetatos y las poliamidas. Se utilizaron otros materiales sintéticos en lugar de los metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad, aparatos sometidos a altas temperaturas y muchos otros productos empleados en lugares con condiciones ambientales extremas. En 1953, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno, y en 1954 el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, que son los

dos plásticos más utilizados en la actualidad. En 1963, estos dos científicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios acerca de los polímeros.

1.1.2 Características Generales de los Plásticos

Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas (se ablandan con el calor), mientras que las entrecruzadas son termoendurecibles (se endurecen con el calor).

La materia está formada por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas gigantes llamadas polímeros.

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diferentes. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones, otras, globos, etc. Algunas se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales.

La mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una muy buena resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases. Las más comunes, denominadas Fuerzas de Van der Waals, se detallan a continuación:

Fuerzas de Van der Waals

También llamadas fuerzas de dispersión, están en las moléculas de muy baja polaridad, generalmente en los hidrocarburos. Estas fuerzas provienen de dipolos transitorios: como resultado de los movimientos de electrones, en cierto instante una porción de la molécula se vuelve ligeramente negativa, mientras que en otra región aparece una carga positiva equivalente. Así se forman dipolos no-permanentes. Estos dipolos producen atracciones electrostáticas muy débiles en las moléculas de tamaño normal, pero en los polímeros, formados por miles de estas pequeñas moléculas, las fuerzas de atracción se multiplican y llegan a ser enormes.

Fuerzas de Atracción dipolo-dipolo.

Debidas a dipolos permanentes, como en el caso de los poliésteres. Estas atracciones son mucho más potentes y a ellas se debe la gran resistencia tensil de las fibras de los poliésteres.

Enlaces de Hidrógeno

Como en las poliamidas (nylon), estas interacciones son tan fuertes, que una fibra obtenida con estas poliamidas tiene resistencia tensil mayor que la de una fibra de acero de igual masa.

Otros polímeros

Hay atracciones de tipo iónico que son las más intensas. Se llaman ionómeros y se usan, por ejemplo, para hacer películas transparentes de alta resistencia. (tabla 1)

Tipo de enlace	Kcal / mol
Van der Waals en CH ₄	2,4
Dipolos permanentes	3 a 5
Enlaces hidrógeno	5 a 12
Iónicos	mayores a 100

Tabla 1

Energía Requerida Para Romper Cada Enlace

La fuerza total de atracción entre las moléculas del polímero, dependería del número de las interacciones. Como máximo, sería igual a la energía de enlace según la tabla, multiplicada por el número de átomos de carbono en el caso del polietileno o por el número de carbonílicos C = O en los poliésteres, etc. Rara vez se alcanza este valor máximo, porque las cadenas de los polímeros no pueden, por lo general, acomodarse con la perfección que sería requerida.

1.1.3 Tipos De Polimeros

Concepto y clasificación

Con los términos macromoléculas o polímeros se indican unas sustancias, muy difundidas en la naturaleza, constituidas por moléculas de dimensiones y peso mucho mayores que los compuestos químicos comunes.²

Un polímero (del griego *poly*, muchos; *meros*, parte, segmento) es una sustancia cuyas moléculas son, por lo menos aproximadamente, múltiplos de unidades de peso molecular bajo. La unidad de bajo peso molecular es el monómero. Si el polímero es rigurosamente uniforme en peso molecular y estructura molecular, su grado de polimerización es indicado por un numeral griego, según el número de unidades de monómero que contiene; así, hablamos de dímeros, trímeros, tetrámero, pentámero y sucesivos. El término polímero designa una combinación de un número no especificado de unidades. De este modo, el trióximetileno, es el trímero del formaldehído, por ejemplo.

Si el número de unidades es muy grande, se usa también la expresión gran polímero. Un polímero no tiene la necesidad de constar de moléculas individuales todas del mismo peso molecular, y no es necesario que tengan todas la misma composición química y la misma estructura molecular. Hay polímeros naturales como ciertas proteínas globulares y polícarbohidratos, cuyas moléculas individuales tienen todas el mismo peso molecular y la misma estructura molecular, pero la gran mayoría de los polímeros sintéticos y naturales importantes son mezclas de componentes poliméricos homólogos.

La pequeña variabilidad en la composición química y en la estructura molecular es el resultado de la presencia de grupos finales, ramas ocasionales, variaciones en la orientación de unidades monómeras y la irregularidad en el orden en el que se suceden los diferentes tipos de esas unidades en los copolímeros. Estas variedades en general no suelen afectar a las propiedades del producto final, sin embargo, se ha descubierto que en ciertos casos hubo variaciones en copolímeros y ciertos polímeros cristalinos.

Concepto de Tacticidad

El término tacticidad se refiere al ordenamiento espacial de las unidades estructurales.

El mejor ejemplo es el polipropileno, que antes de 1955 no tenía ninguna utilidad. En ese año, Giulio Natta en Milán, utilizó para hacer polipropileno, los catalizadores que Karl Ziegler había desarrollado para el polietileno. Esos catalizadores, hechos a base de cloruro de titanio y tri-*n*-alquil-aluminio, acomodan a

² Enciclopedia de la ciencia y la técnica vol 5

los monómeros de tal manera que todos los grupos metilos quedan colocados del mismo lado en la cadena.

En esta forma, Natta creó el polipropileno isotáctico, que tiene excelentes propiedades mecánicas. Hasta ese momento, con los procedimientos convencionales, sólo se había podido hacer polímeros atácticos, sin regularidad estructural.

El polipropileno atáctico es un material ceroso, con pésimas propiedades mecánicas.

Otros catalizadores permiten colocar los grupos alternadamente, formando polímeros que se llaman sindiotácticos, los cuales, como los isotácticos, tienen muy buenas propiedades.

Homopolímeros y Copolímeros

Los materiales como el polietileno, el PVC, el polipropileno, y otros que contienen una sola unidad estructural, se llaman homopolímeros. Los homopolímeros, además, contienen cantidades menores de irregularidades en los extremos de la cadena o en ramificaciones.

Por otro lado los copolímeros contienen varias unidades estructurales, como es el caso de algunos muy importantes en los que participa el estireno.

Estas combinaciones de monómeros se realizan para modificar las propiedades de los polímeros y lograr nuevas aplicaciones. Lo que se busca es que cada monómero imparta una de sus propiedades al material final; así, por ejemplo, en el ABS, el acrílonitrilo aporta su resistencia química, el butadieno su flexibilidad y el estireno imparte al material la rigidez que requiera la aplicación particular.

Evidentemente al variar las proporciones de los monómeros, las propiedades de los copolímeros van variando también, de manera que el proceso de copolimerización permite hasta cierto punto fabricar polímeros a la medida.

No sólo cambian las propiedades al variar las proporciones de los monómeros, sino también al variar su posición dentro de las cadenas.

Las mezclas físicas de polímeros, que no llevan uniones permanentes entre ellos, también constituyen a la enorme versatilidad de los materiales poliméricos. Son el equivalente a las aleaciones metálicas.

En ocasiones se mezclan para mejorar alguna propiedad, aunque generalmente a expensas de otra. Por ejemplo, el óxido de polifenilo tiene excelente resistencia térmica pero es muy difícil procesarlo. El poliestireno tiene

justamente las propiedades contrarias, de manera que al mezclarlos se gana en facilidad de procedimiento, aunque resulte un material que no resistirá temperaturas muy altas. Sin embargo en este caso hay un efecto sinérgico, en el sentido en que la resistencia mecánica es mejor en algunos aspectos que a la de cualquiera de los dos polímeros.

Esto no es frecuente, porque puede ocurrir únicamente cuando existe perfecta compatibilidad entre los dos polímeros y por regla general no la hay, así que en la mayoría de los casos debe agregarse un tercer ingrediente para compatibilizar la mezcla. Lo que se emplea casi siempre es un copolímero injertado, o uno de bloque que contenga unidades estructurales de los dos polímeros. Otras veces, se mezcla simplemente para reducir el costo de material.

En otros casos, pequeñas cantidades de un polímero de alta calidad puede mejorar la del otro, al grado de permitir una nueva aplicación.³

³ <http://www.ingenieroambiental.com>

CAPITULO 2

EL PET COMO MATERIAL UTILIZADO PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PREFORMAS

2.1 EL PET

El Polietilén Tereftalato, mejor conocido como Pet es un polímero termoplástico cristalizabile. Se llama polímero a la repetición ordenada de unidades químicas elementales llamadas monómeros. (MONOMERO = es una estructura química básica) Dichas repeticiones, también conocidas como cadenas moleculares o macromoléculas es lo que llamamos POLIMERO⁵

El PET (tereftalato de polietileno) es uno de los materiales comúnmente utilizados en la industria embotelladora de bebidas y del embalaje por sus características muy particulares que favorecen la distribución, el almacenaje y la presentación de algunos productos. (Tabla 2)

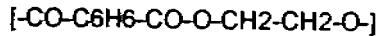
Densidad (g/cm ³)	1.3 – 1.33
Absorción de agua (%)	0.15
Contracción lineal en el molde (%)	0.6
Dureza, Rockwell R	110
Resistencia a la tracción (Mpa)	55
Resistencia a la fluencia (Mpa)	50 – 57
Elongación a la ruptura (%)	50 – 350
Elongación a la fluencia (%)	3.8
Módulo elástico (GPa)	2.47 – 3
Módulo a flexión (Gpa)	1
Resistencia al impacto, Izod (J/cm)	1.4
HDT a 0.46 MPa (66 psi) (°C)	68 – 72
HDT a 1.8 MPa (264 psi) (°C)	63 – 100
Expansión térmica lineal, a 20 °C (µm/m - °C)	73 – 92
Punto de reblandecimiento Vicat (°C)	74 – 76
Temperatura de procesamiento (°C)	280 – 300
Resistencia a ácidos	Resistente
Resistencia a bases	Resistente
Resistencia a disolventes	Soluble en solventes clorados y en acetato etílico

Tabla 2

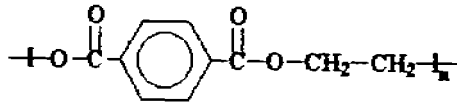
⁵ hojas de especificación de los polimeros Eastpak®

El PET es un material altamente cristalino por lo que puede formar fibras muy fuertes. Es de gran utilización en la industria textil. También tiene un amplio uso para fabricar envases para bebidas gaseosas, pues ofrece una alta barrera a los gases.

La fórmula química del polietileno tereftalato o politereftalato de etileno, en resumen, PET, es la siguiente:



Polietilentereftalato (PET)



La resina PET es un Poliéster Termoplástico que se caracteriza por sus propiedades de alta resistencia mecánica, transparencia superior y excelente barrera. Es utilizada en la fabricación de recipientes para diversos productos como: bebidas gaseosas, aceites comestibles, agua, conservas, gel, miel, mayonesa, licores; así como, productos en polvo y líquidos en general. Presenta considerablemente una excelente transparencia, y cuenta con características muy específicas de acuerdo a su aplicación.

Presenta como características más relevantes:

- Cristalinidad y transparencia, aunque admite cargas de colorantes
- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes
- Alta resistencia al desgaste
- Muy buen coeficiente de deslizamiento
- Buena resistencia química
- Buenas propiedades térmicas
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Totalmente reciclable
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

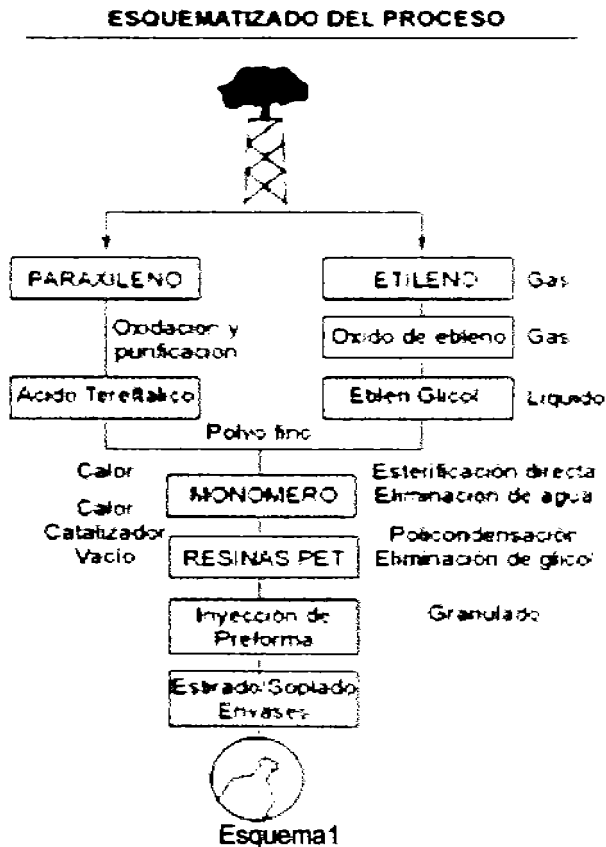
Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.

2.1.1 Fabricación del pet

El PET se fabrica a partir de dos materias primas derivadas del petróleo: etileno y paraxileno. Los derivados de estos compuestos (respectivamente, etilen glicol y ácido tereftálico) son puestos a reaccionar a temperatura y presión elevadas para obtener la resina PET en estado amorfo.

La resina se cristaliza y polimeriza para incrementar su peso molecular y su viscosidad. El resultado es la resina que se usa para fabricar envases. Su apariencia es la de pequeños cilindritos de color blanquizco llamados chips. Una vez seca, se almacena en silos ó supersacos para después ser procesada.

Ácido tereftálico: Se elabora totalmente en México a partir del paraxileno, materia prima que produce PEMEX quien abastece a los dos fabricantes en México. (Esquema 1)



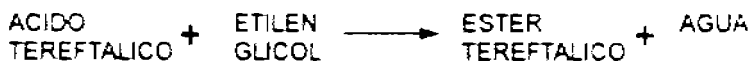
Monoetilén glicol: Es el reactivo limitante en la reacción de esterificación para la producción de poliéster, que se obtiene a partir del óxido de etileno que produce también Petróleos Mexicanos.

En términos químicos, el camino más simple para la obtención del PET es la reacción directa (esterificación) del ácido tereftálico con el etilen glicol formando un "monómero" (bis-B-hidroxietil tereftalato) el cual se somete a una policondensación para obtener un polímero de cadena larga que contiene cerca de 100 unidades repetidas. (Tabla 3)

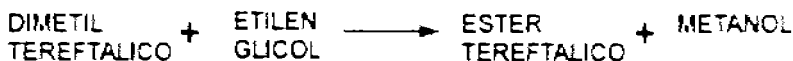
Mientras que la reacción de esterificación tiene lugar, con la eliminación del agua como subproducto, la fase de policondensación que se efectúa en condiciones de alto vacío, libera una molécula de glicol cada vez que la cadena se alarga por unidad repetida. Conforme la cadena va alargándose, existe un aumento en el peso molecular, el cual va acompañado por un aumento en la viscosidad de la masa y otras ventajas asociadas proporcionando así una mayor resistencia mecánica.

REACCION QUIMICA PARA FABRICAR PET

La reacción sintetizada podría expresarse así.



O BIEN:



FINALMENTE:



Tabla 3

La calidad final de un polímero sintético depende en gran parte de la calidad de su monómero y dado que no es práctico purificar el monómero de tereftalato, la pureza química de su inmediato precursor es de gran importancia. En este contexto, el etilenglicol no presenta problema, pero el ácido tereftálico, al ser un sólido, limita la elección de la tecnología de purificación.

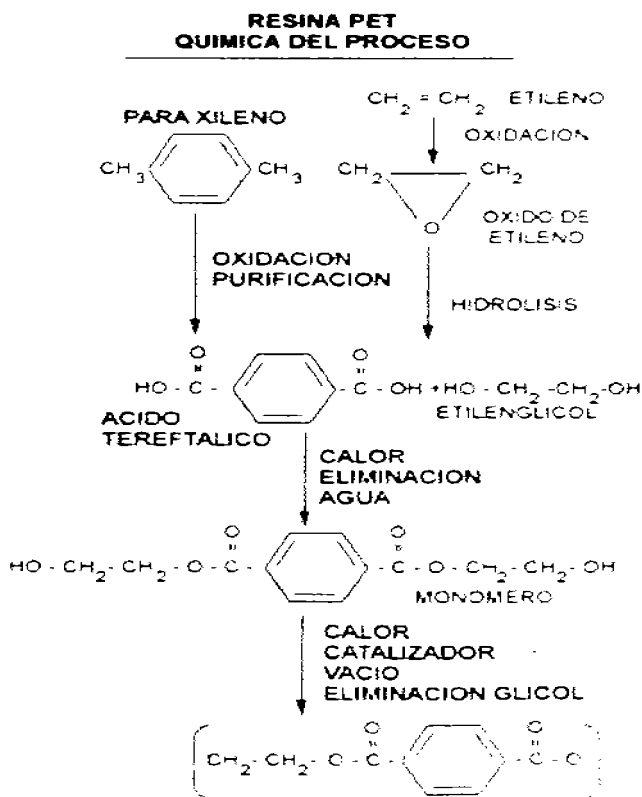
No obstante, una vez resuelto este problema, ya que el ácido tereftálico de gran pureza se convierte en un producto comercial, la necesidad inicial de utilizar

dimetiltereftalato puede evitarse, por lo que las fases del proceso quedan simplificadas.

Una vez que la longitud de cadena es suficientemente larga, el PET se extruye a través de un dado de orificios múltiples para obtener un espagueti que se enfría en agua y una vez semisólido es cortado en pelletizador obteniendo así el granulado que presenta las siguientes características:

- Es amorfo.
- Posee un alto contenido de acetaldehído.
- Presenta un bajo peso molecular.

Estas características limitan el uso del PET en la fabricación de botellas, por lo que se hace necesario pasar el granulado por otro proceso conocido como polimerización en fase sólida. Durante este proceso, el granulado se calienta en una atmósfera inerte permitiendo que se mejoren estas tres propiedades simultáneamente, lo cual permite una mayor facilidad y eficiencia del secado y moldeado de la preforma o bien durante la producción y la calidad de la botella misma. (Esquema 2)



Esquema 2

PET

CAPITULO 3

OBTENCIÓN DE PREFORMAS MEDIANTE EL MOLDEO POR INYECCIÓN

El moldeo por inyección es una técnica de procesamiento en la cual se inyecta una cantidad de plástico fundido en un molde cerrado.

El moldeo de las preformas consiste en la inyección del polímero fundido en la cavidad del molde hasta llenarlo. Una vez lleno, la resina del polímero fundido es enfriada rápidamente para obtener así una pieza con excelente transparencia, libre de deformaciones y una magnífica exactitud dimensional lo cual es esencial para obtener botellas de excelente calidad.

El polímero de PET puede ser transformado en botella mediante un proceso llamado biorientación de preformas, las cuales son moldeadas en equipos de inyección

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

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

Preparación del material.

- Secado del granulado hasta lograr que el contenido de humedad sea menor a 40 ppm.
- Inspección de la resina del PET:

Fusión.

- Fusión del polímero en un equipo de inyección, utilizando de preferencia el husillo que esté diseñado especialmente para PET, aunque un husillo convencional, de longitud 20:D y una relación de compresión de 3:1, puede ser de utilidad.
- El punto de fusión del PET es aproximadamente 250°C (450°F)
- El rango típico de temperatura de fundido del PET es 270 -295°C (520-560°F).¹
- Para obtener preformas transparentes se debe de trabajar a la menor temperatura de moldeo.

Inyección.

- 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.

¹ hojas de especificación de los polímeros Eastapak

- El molde debe llenarse con la menor presión posible. (usualmente, 90% del disparo se llena bajo presión primaria, el 10% restante se llena bajo presión secundaria)

Enfriamiento.

- Enfriado rápido del material dentro del molde para obtener piezas amorfas (transparentes).
- La cristalización ocurre mas rápidamente en el rango de 150-190°C (300-375°)²
- Apertura del molde y expulsión de las preformas.

3.1.1 CONTROL DEL PROCESO

Durante el moldeo por inyección de la preforma, se deben controlar perfectamente los siguientes aspectos ya que las ventajas principales inherentes del PET pueden quedar destruidas durante la inyección de la preforma si no se tiene una óptima operación:

RETENCION DE VISCOSIDAD INTRINSECA

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.

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 Hojas de especificación de los polímeros Eastpak

GENERACION MINIMA DE ACETALDEHIDO

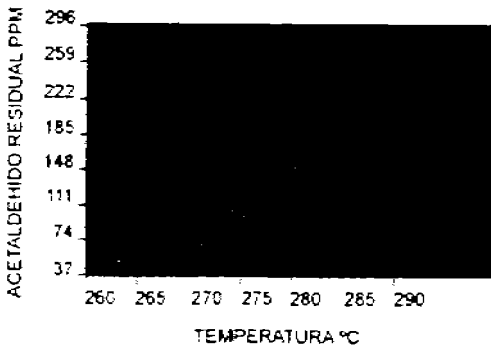
El acetaldehído (CH_3CHO) se genera en pequeñas cantidades durante el proceso de fusión de PET; la cantidad de agua presente no influye en la generación de acetaldehído. Durante la fabricación del polímero el nivel de acetaldehído se controla perfectamente, entregando un producto al mercado con un contenido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

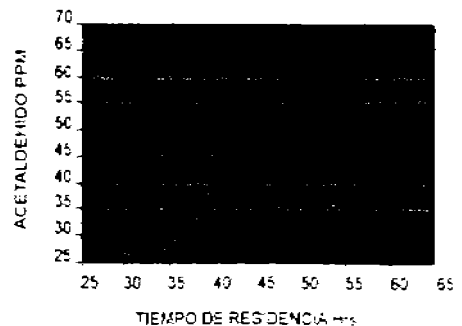
Debido a la facilidad que tiene el acetaldehído de emigrar desde la pared de la botella y difundirse en el contenido de la misma, la generación de este producto debe ser cuidadosamente controlada durante la inyección de la preforma. El agua mineral así como las bebidas de cola son particularmente sensibles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

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

El efecto de la temperatura y el tiempo de residencia del polímero dentro del cañón, en relación a la generación de acetaldehído (grafica 1,2)

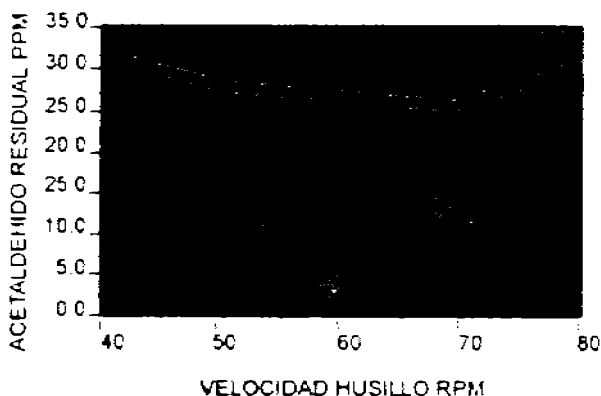


Gráfica 1



Gráfica 2

Se puede observar el efecto, de la velocidad del husillo (RPM) y la contrapresión en la generación de acetaldehído.(grafica 3)



Gráfica 3

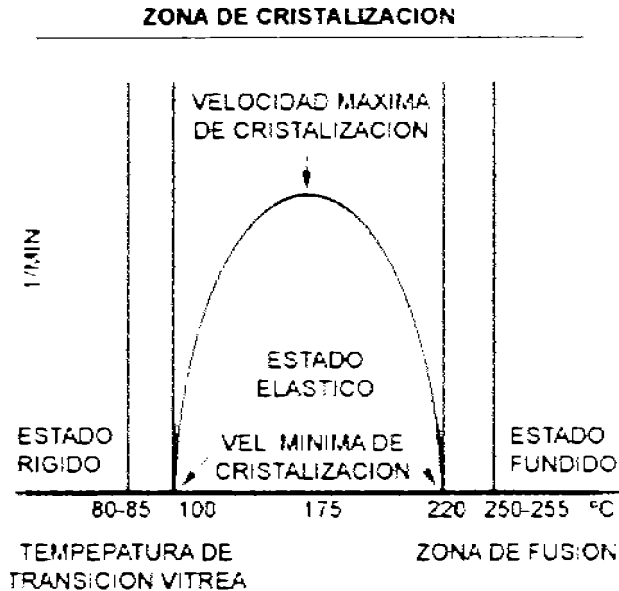
TRANSPARENCIA MAXIMA DE LA PREFORMA

La transparencia de la preforma está relacionada directamente con el grado de cristalinidad del polímero (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. (grafica 4)

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.



Grafica 4

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 cristalitas fundidas. 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.

3.1.2 DETALLES TEORICOS DEL SECADO PET

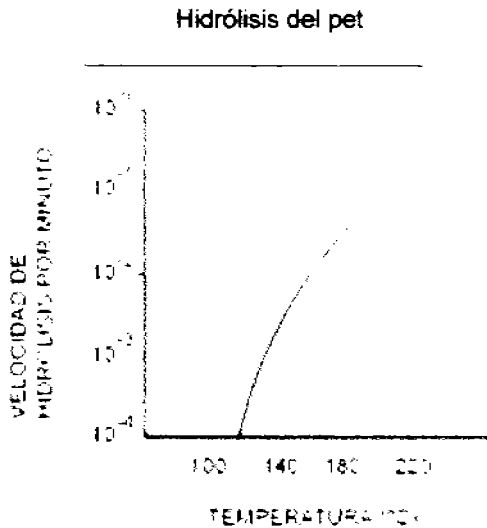
Un requisito esencial para el proceso de la resina de polietilentereftalato (PET), es el control cuidadoso del secado del material.

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 superiores al punto de fusión, el agua presente hidroliza rápidamente al polímero, reduciendo sus peso molecular así como sus propiedades características.

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 como se muestra en la Fig. 1. 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. (grafica 5)



Grafica 5

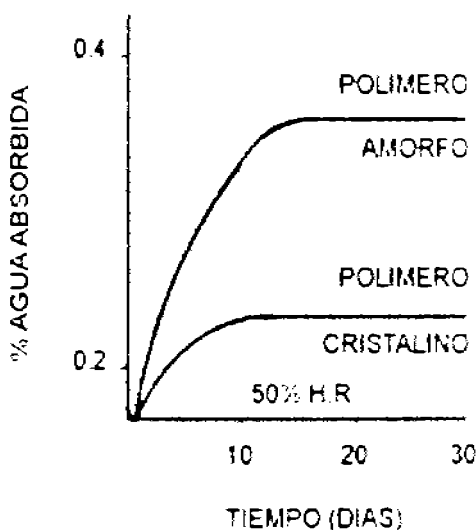
ABSORCION DE HUMEDAD

Ya que 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) y la cristalinidad del chip. 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. (grafica 6)

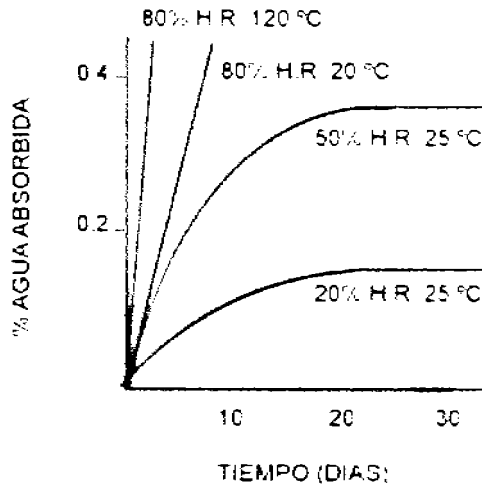
ABSORCION DE HUMEDAD DEL PET



Grafica 6

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. (Grafica 7)

INFLUENCIA DE TEMPERATURA SOBRE LA HUMEDAD ABSORBIDA



Grafica 7

ELIMINACION DE HUMEDAD - PROCESO DE DIFUSION

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 es absorbida por el granulado al introducirse en el interior de éste por difusión. Es aquí donde 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, siendo la forma cilíndrica del 86N óptima para ayudar a la eliminación de humedad. 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.

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 la 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 polímero 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 manejo de chip seco se efectúe con aire cuyo punto de rocío 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.

EQUIPO DE SECADO

Se requiere 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, distribución uniforme del gas a través del polímero y obtener 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 precrystalizador antes del secado tal como se requiere con el polímero amorfo.

3.1.4 DETALLES PRACTICOS DEL SECADO DEL PET

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 para el secado del pet.

REQUERIMIENTOS CLAVES E IMPLICACIONES PRACTICAS

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).

PRINCIPALES PROBLEMAS QUE DEBEN SER CONSIDERADOS

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

1. Filtro del aire

Los filtros protegen al desecante del polvo y su limpieza en forma rutinaria es esencial. Se debe tener mucho cuidado para no dañarlos ya 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.
- 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

IMPLICACIONES PRACTICAS

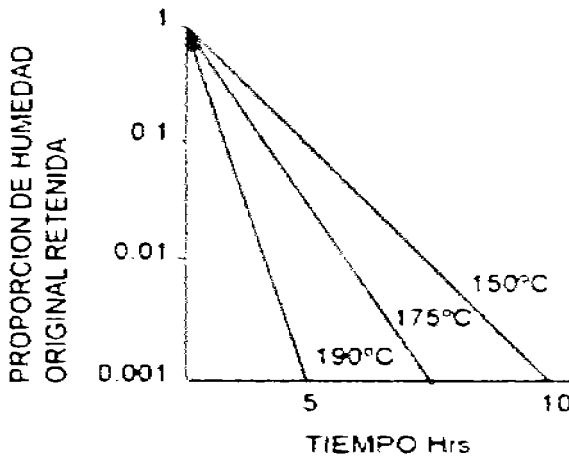
Ante todo es importante seguir las instrucciones operativas sugeridas por el proveedor del equipo. Se deben llevar a cabo los programas de mantenimiento, los cuales están basados en una amplia experiencia. Las fallas en el equipo pueden provocar un secado ineficiente, produciendo preformas y envases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

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 (Grafica 8), donde se observa un incremento en 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.

EFFECTOS DE TEMPERATURA DE SECADO Y HUMEDAD REMOVIDA



Gráfica 8

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.

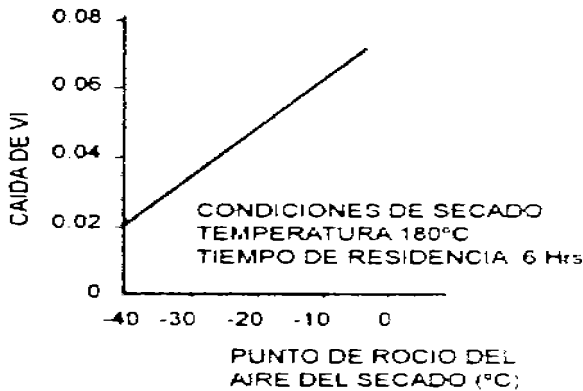
Adicionalmente, si la humedad ha sido removida a temperaturas de secado mayores a 180°C se puede conducir a una degradación termo-oxidativa donde se rompen las cadenas del polímero, produciendo subproductos indeseables con la consecuente disminución de las propiedades físicas.

Entre los subproductos se encuentra la generación de acetaldehído y cambios físicos que pueden producir una apariencia turbia-blanquesina 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.

La influencia de la humedad del gas de secado a una temperatura dada es un factor que debe ser también considerado (gráfica 9)

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 .

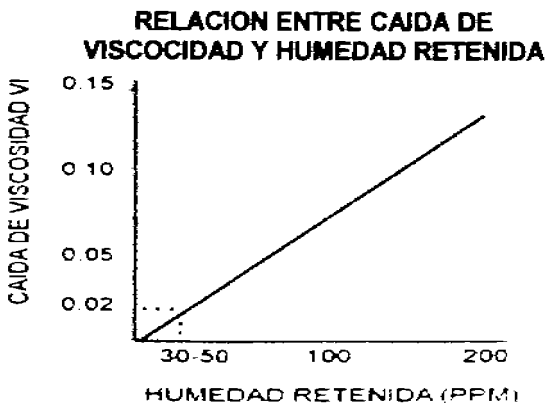
**DEPENDENCIA DE LA CAIDA
DE VISCOSIDAD INTRINSECA V.I.
(Hidrólisis del PET) con el punto de rocío**



Grafica 9

HUMEDAD RETENIDA EN EL CHIP SECADO

La importancia de la eliminación de humedad, es mostrada mediante un cálculo teórico donde se obtiene una pérdida de V.I. de 0.01 casi de forma instantánea, por cada 16 ppm de humedad retenida en PET fundido. (Gráfica 10)



Grafica 10

Muchos productos tales como alimentos, cosméticos y farmacéuticos entre otros, requieren materiales de empaque especiales 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.

3.1.4 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 rompe la burbuja, 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 establecida por el fabricante, que determina la intensidad del concentrado e indica la cantidad de Dg 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. 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. Esta unión se utiliza únicamente en el caso del Master Batch.

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.

DATOS TECNICOS DEL CONCENTRADO

1. Color:

Además del verde y ámbar, se pueden producir una gran variedad de colores como: azul, amarillo, naranja, negro, en presentación transparente, translúcida y opaca.

2. Tamaño del chip:

El tamaño del chip del Master Batch y microesferas siempre son uniformes, asegurando un color estándar y sin variación en los productos elaborados.

3. 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, obteniéndose así envases que cumplan con las especificaciones requeridas

4. 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.

5. 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.

6. 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 que alcance el color deseado al menor costo posible.

7. Características de transmisión de luz:

Uno de los factores más importantes que 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.

CAPITULO 4

EVALUACION DE PROPIEDADES DE LA PREFORMA

La evaluación de productos plásticos es un mecanismo para determinar la calidad.

La evaluación permite:

- Tomar decisiones acertadas para la modificación de procesos, productos o cambios de materia prima
- Conocer mejor lo productos, ver sus fortalezas y debilidades
- Cumplir con las regulaciones sanitarias y ambientales vigentes.

A su vez la evaluación toma en consideración las diferentes propiedades a productos terminados, los cuales se realizan siguiendo métodos implantados según las normas ASTM e ISO correspondientes u otras normas internacionalmente reconocidas.

4.1 PROPIEDADES MECÁNICAS

Al cuantificar las propiedades mecánicas se podrá establecer un criterio fundamental para la funcionalidad del producto durante su uso, sometido a requerimientos de impacto, fuerzas en tensión, flexión, compresión, rasgado, penetración, etc.

Estas propiedades incluyen:

Propiedades en Tensión:

Determinan los esfuerzos y las deformaciones que experimenta un material al ser estirado hasta su punto de ruptura.

Entre las características determinadas tenemos:

- Módulo de elasticidad
- Esfuerzo en la fluencia
- Deformación en la fluencia
- Esfuerzo en la ruptura
- Deformación en la ruptura
- Tenacidad

Propiedades en Flexión:

Mide la resistencia del material a soportar fuerzas que producen una combinación de esfuerzos de compresión y tensión.

Resistencia al Impacto:

Permite cuantificar la energía de impacto requerida para romper la pieza.
Entre los tipos existentes tenemos:

- IZOD
- Gardner
- Impacto – tensión

Resistencia a la compresión:

Se utiliza para establecer criterios de apilamiento de los artículos plásticos y representa la fuerza que puede soportar el material cuando es comprimido.

Fuerza de Desgarre:

Se aplica sólo en película e indica la fuerza con la que se propaga una rotura.

Fuerza de Penetración:

Indica la fuerza que resiste una película a ser penetrada.

4.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Con la determinación de las propiedades físicas se podrá evaluar el cumplimiento de los requisitos exigidos en cuanto a apariencia, densidad, dureza, tamaño de partícula, coeficiente de fricción, entre otras.

Estas propiedades incluyen:

Propiedades Ópticas:

Miden la apariencia del material en su uso final; estas propiedades contribuyen con el cumplimiento de los requisitos exigidos y comprenden:

- Índice de Blancura e Índice de Amarillamiento
- Opacidad y Transmisión Luminosa
- Brillo

Densidad Absoluta:

Se utiliza como parámetro de la calidad en la materia prima y permite seleccionar el tipo de Polietileno a usar en determinada aplicación.

Densidad Aparente:

Permite conocer la capacidad de los silos de almacenamiento y mezcladores; esta propiedad influye en el caudal másico de los equipos de transformación y tolvas de dosificación de material. Pueden ser

- Densidad aparente en Polvo (PVC), Materiales Pulverizados, Aditivos.
- Densidad Aparente en Grano

Dureza:

Esta propiedad mide la resistencia al rayado de los materiales y permite fijar condiciones de diseño de piezas y selección de materia prima. En plástico, los tipos de dureza que se utilizan son:

- Dureza Shore
- Dureza Rockwell

Tamaño de grano y su distribución:

Esta propiedad, al igual que la densidad aparente, influye en el caudal másico de los equipos de transformación y apoya al transformador en el cumplimiento de los requisitos exigidos por el usuario final.

Coefficiente de fricción:

Determina la capacidad que tiene una película en permitir el deslizamiento cuando esta en contacto con otra superficie.

Fuerza de Bloqueo:

Significa la fuerza necesaria para separar dos películas unidas durante el proceso de transformación.

4.1.2 PROPIEDADES TÉRMICAS

Las propiedades térmicas se utilizan para establecer las condiciones de temperatura que soporta el material durante su uso.

Entre estas propiedades tenemos:

Temperatura de penetración VICAT:

Esta temperatura se utiliza para identificar la temperatura límite de uso práctico del material.

Temperatura de Deflexión Bajo Carga HDT:

Se utiliza para conocer hasta que temperatura se puede someter un material sin que experimente deformaciones que alteren su geometría.

Flamabilidad:

Se utiliza para determinar el desempeño de los plásticos frente al fuego. determina:

- Velocidad de Quemado
- Índice límite de oxígeno

Estabilidad Térmica:

Permite evaluar la velocidad de oxidación de los materiales sometido a atmósferas de oxígeno ó aire. (OIT)

Coefficiente de Dilatación Térmica:

Se utiliza para el diseño de piezas y para determinar si pueden ocurrir fallas por esfuerzo de origen térmico en un cuerpo sólido compuesto por dos o más materiales.

Temperatura de Fusión:

Esta propiedad determina la temperatura en la que el plástico pasa del estado sólido al fundido; sirve para fijar criterios en la selección de la temperatura de procesamiento del material y para la identificación de materiales presentes en una mezcla.

Temperatura de Transición Vítrea:

Es la temperatura en la cual el material comienza a experimentar cambios, producto de la aplicación de calor.

Temperatura de Cristalización:

La temperatura de cristalización establece el paso del estado fundido al sólido y se utiliza para fijar criterios de extracción de piezas del molde.

4.1.3 PROCESABILIDAD

La procesabilidad de los plásticos definen las características del material y las condiciones que deben ser utilizadas para su transformación. Al determinar sus propiedades asociadas podemos optimizar los procesos de fabricación de artículos plásticos para obtener una mejor calidad y/o un menor costo.

Estas propiedades incluyen:

Índice de Fluidéz:

Es la cantidad de material extruído a través de un capilar bajo ciertas condiciones de peso y temperatura. Se utiliza como un valor de referencia de la fluidéz del material.

Curva de Fluidéz:

Representa los cambios de la viscosidad del material en función de la temperatura y de la velocidad de procesamiento. Esta curva permite explicar dificultades en cuanto a: alto consumo de potencia, alta presión, defectos superficiales y bajo caudal de producción.

Viscosidad en Extensión:

Propiedad asociada con el flujo del plástico ante esfuerzo de tensión; este parámetro refleja la estirabilidad del material en procesos tales como: soplado de película, extrusión de tuberías y fibras.

inyectabilidad:

Indica la cantidad de plástico inyectado, en espiral, a determinadas condiciones de temperatura y presión. Esta propiedad permite adaptar las condiciones de inyección en función del tipo de producto utilizado.

Estabilidad al procesamiento:

Permite cuantificar los cambios que experimentan las propiedades del material, tales como: índice de fluidez, índice de amarillamiento, resistencia al impacto y propiedades en tensión, al ser introducido múltiples veces al extrusor. Es una medida de la estabilidad del material al reproceso.

Estabilidad Térmica Dinámica de PVC:

Mide el tiempo que tarda el compuesto en sufrir degradación; esto permite realizar ajustes en la temperatura de procesamiento o en las concentraciones y tipos de aditivos utilizados.

Diagrama PVT:

Predice el comportamiento del material bajo condiciones de Presión, Volumen y Temperatura en los equipos de procesamiento; esta propiedad es necesaria para el uso de programas de simulación del proceso de inyección.

PERMEABILIDAD

Es la capacidad que tiene el material de permitir la transmisión de gases o de vapor de agua a través de ellos

Entre estas propiedades tenemos:

- Permeabilidad al Vapor de Agua
- Permeabilidad a los Gases (Oxígeno; Nitrógeno, Dióxido de Carbono, Aire)

4.1.4 PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas representan la forma que los materiales plásticos soportan el contacto con agentes químicos, se relacionan directamente con el desempeño final del producto expuesto a un agente dado.

Entre estas propiedades tenemos:

- Extraíbles en Hexano.
- Máxima fracción soluble en Xileno.
- Resistencia a agentes químicos.

- Migración Global.

- **Resistencia química**

Las pruebas de resistencia química, básicamente se remiten a observar el efecto de una sustancia dada sobre un material. Este efecto puede manifestarse como solubilización del material, hinchamiento o ser nulo. Estas pruebas se realizan sumergiendo pequeñas cantidades de plástico (pellets, hojuelas) en un tubo de ensayo con la sustancia; se observa el efecto durante un tiempo que puede ser de hasta 24 horas.

4.1.5 ENVEJECIMIENTO

Propiedad asociada con la vida útil del material que consiste en exponer la preforma a determinadas condiciones de calor, luz UV, agentes químicos ó agentes mecánicos y evaluar sus propiedades en función del tiempo de exposición.

Algunos de los métodos que se utilizan para la evaluación del envejecimiento son:

- Envejecimiento acelerado a la luz UV.
- Envejecimiento térmico en horno³.

4.1.6 PRUEBAS DE PERMANENCIA

Resistencia al agrietamiento por esfuerzos ambientales⁴

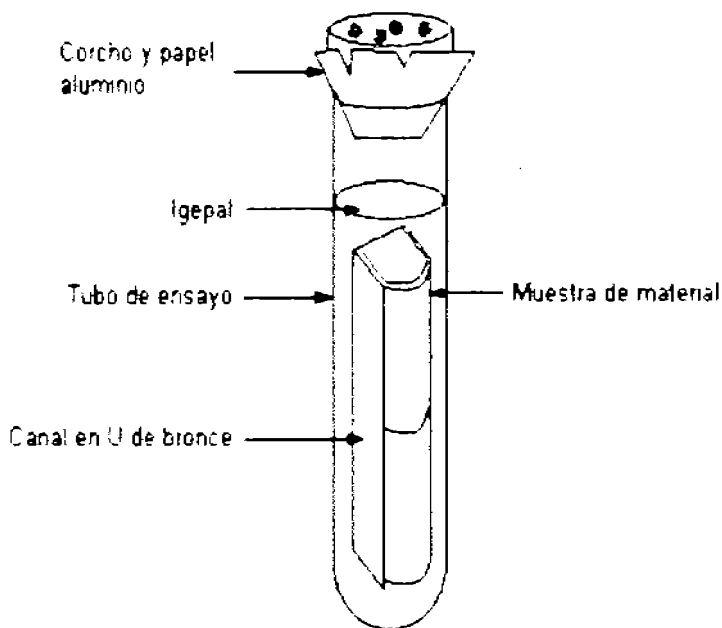
Se utilizan trozos de lámina del material cortados con dimensiones de 38 x 13 mm. y espesores entre 1.75 y 3.30 mm. Se doblan en "U" por el lado más angosto y se insertan en un canal de bronce.

Las probetas así sujetadas se sumergen en una agente tensoactivo (Igepal) dentro de un tubo de ensayo, el cual es sellado con papel de aluminio y un corcho.

El tubo se pone en un baño a 50 °C. Se inspecciona la muestra periódicamente y cualquier grieta visible sobre la superficie curva del espécimen es considerada como falla. Se reporta el tiempo en horas al cabo del cual apareció la grieta. (esquema 2)

³ Investigación y Desarrollo, C. A. / Indesca.

⁴ (Environmental Stress Cracking Resistance ESCR, ASTM 1693)



Esquema 2

pruebas de permanencia

Resistencia al agrietamiento en medios tensoactivos (ESCR) a esfuerzo constante y a deformación constante.

El ESCR es un indicativo de la resistencia de un material para contener una sustancia agresiva. Sin embargo, los resultados obtenidos no pueden extenderse directamente al desempeño de un producto específico. Es de mucha aplicación en la clasificación de polietilenos aunque también es utilizada para comparar entre otros tipos de materiales.

Capítulo 5

RESINAS MODIFICADAS

Las necesidades funcionales en el envase, dan pie a la búsqueda de mejoras en las tecnologías empleadas y así como la incursión en el campo de la química que permita la modificación de resinas pet, en cuanto a su procesabilidad. Ha permitido que no se detenga el avance en este tipo de investigaciones, creando resinas para las necesidades funcionales del envase.

Las cualidades del PET en cuanto a procesabilidad, transparencia, consistencia mecánica y barrera, han determinado su rápido crecimiento en el sector del envasado de bebidas; no obstante, para que el PET desarrolle toda su potencialidad es preciso someterlo a un proceso de biorientación que induce un orden molecular del que dependen en gran medida las propiedades finales de los envases

La inducción de altas tasas de biorientación molecular en procesos de soplado, implica el uso de preformas de dimensiones reducidas en relación con las del envase final y esto, a su vez, la utilización de preformas con elevados espesores de pared.

La inyección y soplado de este tipo de preformas no está exenta de dificultades que pueden ser superadas mediante la utilización de los grados de resina adecuados.

En la inyección: mediante una alta fluidez del fundido sin sacrificio de la I.V.; con una baja tendencia a la cristalización térmica sin perjuicio de la cristalización por deformación mecánica, y posibilitando el trabajo a bajas temperaturas en la plastificación sin incrementar los tiempos de ciclo o la aparición de tensiones por cizalla.

En el soplado: mediante una gran capacidad de captación de radiación IR para favorecer el calentamiento rápido y uniforme de la pared de la preforma; posibilitando una ventana de trabajo muy amplia para facilitar la parametrización y operación en condiciones estables, y con una capacidad de estirado biaxial muy elevada sin aparición de los efectos visibles por sobreestirado del material, manteniendo un elevado grado de cristalinidad a los envases.

Son practicables espesores de pared superiores a 4,5 mm, relaciones de biorientación superiores a 16 y captaciones de calor incrementadas en más de un 15%, todo ello sin recurrir a más especificidad tecnológica que el empleo del grado de resina adecuado para este tipo de exigencias.⁵

⁵ <http://www.bridenuldesa.com/index.html>

5.1 Acetaldehido

La posibilidad de reducción de los niveles de AA en las preformas mediante el uso de resinas de calidad específica es siempre consistente, y la entidad de las mejoras variable en función del resto de los factores que afectan al caso, habiéndose obtenido reducciones de hasta el 30% en los niveles de AA de las preformas con la única aportación de la calidad de resina adecuada y sin recurrir a la disminución de la I.V.

Al modificar las resinas se obtienen ventajas como:

La posibilidad de acometer mercados de alta exigencia sin la utilización de bloqueantes que, aunque de probada eficacia, complican el proceso de inyección y no siempre resultan inocuos para otros atributos de la calidad de los envases. En este sentido, se ponen al servicio de proyectos específicos el resultado de estudios que contemplan todos los aspectos del problema, desde el conocimiento de las exigencias y sus métodos de control, hasta la influencia de las tecnologías de inyección o los formatos de los envases atendidos.

La posibilidad de reducir las dosis de aditivos empleados, cuando no sea posible su eliminación, utilizando grados de resinas con altos índices de plastificación y fluencia.

La atención de los crecientes niveles de exigencia que el mercado de las bebidas envasadas impone a los fabricantes de envases de PET en relación con el AA, requiere la consideración de todos los factores que pueden influir en su generación.

Al conjugar el conocimiento tecnológico, con la experiencia de los fabricantes de equipos de inyección se han constatando las ventajas derivadas del uso de calidades específicas de resinas en aras a la reducción de los niveles de AA en las preformas.

5.1.1 Envases asimétricos

Una de las grandes ventajas del PET en el mundo del envase es la posibilidad de personalizar las geometrías de éstos, pero esta voluntad de diferenciación no siempre atiende de forma primordial a la optimización del reparto de material.

Así, descompensaciones en las relaciones de estirado axial-radial, desviaciones de las formas simétricas o la inclusión de "logos" o representaciones grabadas en el envase pueden dificultar, e incluso impedir, su obtención sin incurrir en penalizaciones estéticas o funcionales.

Se puede recurriendo a la formulación química de algunos grados de resinas, ayudar a la consecución de objetivos difícilmente alcanzables con los grados estándares de PET, aportando: Versatilidad sin recurrir a inversiones en equipamiento. Prototipado rápido y presentación previa de resultados tangibles. Colaboración para ayudar en la elección del equipamiento más rentable o en la optimización del uso del ya existente.

Se parte de las necesidades funcionales del envase, integrando de principio a fin toda su cadena de valor para ofrecer diferentes productos interdependientes: resinas de PET, preformas, así como auditoría y diagnóstico en cada uno de los eslabones.

No todas las preformas son iguales.

Si muchas de las existentes en el mercado se parecen mucho es porque todas ellas se apoyan en resinas idénticas en cuanto a características y prestaciones. Pero una misma preforma, con la misma geometría y peso puede cumplir misiones muy diferentes en función de la resina con la que haya sido inyectada. Por eso, en un mismo molde de inyección puede dar lugar a productos radicalmente diferentes en cuanto a mercado, tamaño de botella, tipo de diseño de la misma, etc.

Sabemos que no es posible establecer ninguna relación funcional entre el mero peso de una preforma y las prestaciones de una botella, y que, sin embargo, si existe una relación directa entre la tasa de biorientación obtenida con una preforma y la calidad de la botella. Por eso, es que hay que proporcionar en cada hoja el plano de la versión de más peso para cada una de las diferentes geometrías y señalar igualmente los espesores máximos de pared para las versiones más ligeras.

5.1.2 Resina modificada "BST"

Caracterización comercial:

- Producto diseñado para muy variadas aplicaciones (agua mineral, bebidas carbónicas, aceites comestibles, cosméticos, etc.)
- Extraordinariamente transparente y brillante.
- De gran estabilidad térmica y química.
- Constante y fiable en producción calidad y prestaciones.

Particularmente adecuado para preformas de espesor de pared medio y alta productividad.

Tasa máxima de estirado recomendada: hasta 15.

BST especificaciones comerciales

Viscosidad intrínseca, dl/g	0,82±0,02	Ostwald
Color L*, a*, b*	89±3 / 0,7±1,0 / 1,0±1,0	CIE L*a*b*
Densidad cristalina, g/cm ³	1,39	
Densidad aparente (granel), Kg/m ³	890 (aprox.)	
Punto de fusión, °C	245 (aprox.)	DSC
Cristalinidad, %	> 50	
Acetaldehído, ppm	< 1,0	G/C
Humedad, %	< 0,4	
Peso de 100 gélulos, g.	< 1,7	
Finos, ppm	< 200	

Nivel de humedad a ser obtenido en el gránulo 50 ppm o inferior

Temperatura del aire de secado 160/175°C (preferible a 170°C)

Humedad del aire de secado: correspondiente a -30° a -40° punto de rocío

Tiempo de secado 3 - 6 horas

Contenedor	20	1.000	20
Camión	20	1.200	24

5.1.3"Resina modificada LBS"

Ofrece soluciones y mejoras muy equilibradas de una amplia variedad de ventajas técnicas y productivas. Llevando las prestaciones PET a su mayor nivel conocido en el mercado del envase conformado por inyección y soplado.

Resina

Fluidez del fundido:

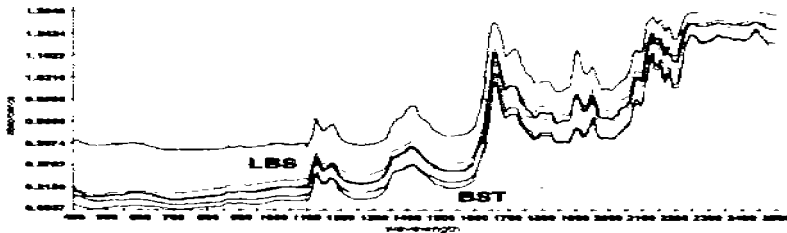
La formulación de la resina LBS induce una más alta capacidad de fluencia que en las referencias estándar de PET sin necesidad de reducirla viscosidad

intrínseca y, consecuentemente, permite una plastificación menos agresiva sin merma de las prestaciones finales de los productos conformados.

Dependiendo del sistema utilizado, es posible una reducción de temperaturas en los extrusores de las máquinas de inyección de preformas convencionales de entre 10 y 20° C; esto se traduce en menores índices de acetaldehído, posibilidad de ahorro energético, menores caídas de la I.V. y mejora de las posibilidades de mezcla con colorantes y otros aditivos, entre otras ventajas derivadas de una alta capacidad de plastificación y mezcla.

Alta capacidad de absorción de radiación IR:

Una de las características reseñables de la resina LBS es su alta capacidad de captación de calor en comparación con otras formulaciones de PET. Esto aporta ventajas en los procesos de soplado, y especialmente cuando se trata de preformas con elevados espesores de pared (superiores a 4 mm). Aparte de las ventajas derivadas de la posibilidad de disminuir las potencias de calefacción (hasta un 20%) en los hornos de las máquinas de soplado, con el consiguiente ahorro energético, esta característica determina la posibilidad de superar los límites de estirado habituales en el soplado de envases a partir de preformas sin penalizar el ciclo de proceso. (grafica 11)



Grafica 11

Inhibición de la tendencia a la cristalización térmica:

Debido a una ralentización de los procesos de cristalización inducida por efecto de la temperatura, la resina LBS permite abrir las ventanas de proceso, tanto en inyección como en soplado.

La diferencia entre el material referido y los estándares estriba tanto en los calores específicos puestos en juego como en los umbrales de temperatura practicables.

Las ventajas se traducen en una mayor posibilidad de cristalización térmica

no impide obtener elevados índices de cristalinidad por efecto de la biorientación del material.

INYECCION

Facilidad de proceso:

La elevada fluidez del material en fundido, su alta capacidad de plastificación y mezcla, y la inhibición efecto de la temperatura, permiten inyectar el LBS con mayores márgenes de maniobra y menos mermas.

Uno de los efectos diferidos de las características citadas es la posibilidad de obtener preformas con menos tensiones internas y más fácilmente procesable mediante soplado; la aparición de tensiones residuales en las preforma es una de las principales causas de efectos negativos en la conformación de las botellas sin causa visible ni aparente.

Espesor de pared (versatilidad):

La posibilidad de inyectar y soplar preformas con espesores de pared sensiblemente superiores a los que permiten los materiales estándar, mediante el uso de LBS permite atender un mayor número de geometrías de envases partiendo de la misma geometría de preforma, lo que puede suponer importantes ahorros en inversiones de equipamiento de inyección y menores tiempos muertos derivados de los cambios de moldes.

Esto es posible merced a las elevadas tasas de biorientación que el material LBS permite obtener, de modo que puede atenderse una gama de envases de diferentes volúmenes partiendo de la misma preforma

Reducción de acetaldehído (AA):

Dos son las causas principales de generación de AA en las preformas (sin entrar en consideraciones relativas a la funcionalidad de los grupos terminales de la resina, lo que no suele ser un parámetro documentable ni manejable por el operador de las inyectoras): la temperatura de proceso y el tiempo de permanencia de la resina en estado fundido.

Debido a las posibilidades de procesar el material LBS a temperaturas más bajas de las habituales para resinas de PET estándar con similares índices de IV, o de inyectarlo a más velocidad para igual temperatura de la masa fundida sin incremento de la cizalla, pueden obtenerse reducciones significativas del contenido de AA en las preformas.

Una vez más, este efecto es tanto más acusado cuanto más crítico sea el proceso, bien por efecto de las limitaciones impuestas por el equipamiento, bien por efecto de un elevado espesor de pared de la preforma inyectada.

Elevada IV en las preformas:

Además de una IV de partida relativamente elevada en la resina LBS (0,82 dl / gr.), la posibilidad de mantener bajas las temperaturas y de minimizar la agresión por cizalla durante la plastificación y la inyección, hace posible el mantenimiento de la estructura molecular sin merma apreciable de la IV en las preformas.

Soplado

Amplitud de la ventana de proceso:

Las especiales características térmicas y mecánicas del material LBS permiten el soplado en un rango muy amplio de parámetros de operación sin perjuicio de la calidad del envase final. Así, y como ejemplo, los problemas de opalescencia por estirado en frío aparecerán a temperaturas más bajas que con resinas estándar, y los problemas de cristalización por sobrecalentamiento de las preformas aparecerán a temperaturas más altas de las habituales. Esto puede abrir la ventana de proceso hasta en 20° C en relación con el rango de trabajo permitido con materiales convencionales.

Las especiales características térmicas y mecánicas del material LBS permiten el soplado en un rango muy amplio de parámetros de operación sin perjuicio de la calidad del envase final. Así, y como ejemplo, los problemas de opalescencia por estirado en frío aparecerán a temperaturas más bajas que con resinas estándar, y los problemas de cristalización por sobrecalentamiento de las preformas aparecerán a temperaturas más altas de las habituales. Esto puede abrir la ventana de proceso hasta en 20° C en relación con el rango de trabajo permitido con materiales convencionales.

Posibilidades de reparto del material:

El LBS tiene una movilidad superior a los estándares en el entorno de su temperatura de transición vítrea (Tg), lo que lo hace especialmente adecuado para la conformación de envases de geometrías complejas o asimétricas, en procesos de una o dos etapas.

Mejora de diseños:

El LBS facilita la personalización o modificación de la geometría o diseño de las preformas de partida, permitiendo importantes ahorros en tiempo e inversiones.

Alta capacidad de estirado:

El LBS ha sido concebido para mostrar su máximo potencial de prestaciones en los casos en que le sean requeridas unas elevadas tasas de biorientación.

Mientras en procesos de soplado normales es difícil superar límites de estirado biaxial superiores a 14, es a partir de este "límite" donde el material LBS permite obtener los beneficios derivados de elevadas tasas de cristalinidad inducidas por la deformación mecánica; en este sentido, porcentajes de cristalinidad superiores al 30% en pared de botella han sido logrados en equipos convencionales, sin aparición de opalescencia ni merma de las cadencias de proceso.

Envases

Consistencia mecánica:

En resumen, la utilización de LBS permite conjugar las ventajas derivadas de una mayor capacidad de orientación molecular en las paredes en las paredes de los envases (sin opacidad aparente), con las procedentes de una mayor viscosidad intrínseca sin penalización de los procesos de transformación de la resina.

Mayor consistencia mecánica.

Barrera al CO₂, que es función directa de la tasa de cristalinidad obtenida en la pared.

Estabilidad dimensional. Mejor distribución y reparto del material. Optimización de los pesos.

Caracterización comercial:

- Las mayores tasas de biorientación botella/preforma del mercado (aplicación óptima para tasas superiores a 15).
- Incremento de la barrera a los gases de la botella. Mejora del comportamiento mecánico de la misma.
- Ampliación de las ventanas de proceso en inyección y soplado. Ahorros energéticos.
- Alta movilidad del material con mejoras notables en el reparto y en el diseño de los envases.
- Reducción del AA sin sacrificar la viscosidad intrínseca (0,82 en resina). Reducción del peso de los envases

LBS especificaciones comerciales

Viscosidad intrínseca, dl/g	0,82±0,02	Ostwald	
Color L*, a*, b*	84±3 / 1,3±1,0 / 0,0±1,0	CIE L*a*b*	
Densidad cristalina, g/cm ³	1,39		
Densidad aparente (granel), Kg/m ³	890 (aprox.)		
Punto de fusión, °C	237 (aprox.)	DSC	
Cristalinidad, %	> 50		
Acetaldehído, ppm	< 1,0	G/C	
Humedad, %	< 0,4		
Peso de 100 g.	< 1,9		
Finos, ppm	< 200		
Nivel de humedad a ser obtenido en el gránulo	50 ppm o inferior		
Temperatura del aire de secado	160/175°C (preferible a 170°C)		
Humedad del aire de secado:	correspondiente a -30° a -40° punto de rocío		
Tiempo de secado	3 - 6 horas		
Contenedor	20	1.000	20
Camión	20	1.200	24

5.1.4 Preformas carbónicas

C 85

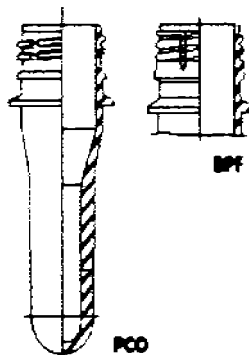
Aplicaciones

■ **BSF**

Botellas de CSD o agua mineral con gas de 0,25 l. y 0,5 l.

□ **LBS**

Botellas de alta orientación de CSD o agua mineral con gas para 0,5 l.



Ficha logística

Embalaje: **Cartón triple canal**

Unidades/Caja:

16.320

Nº de cajas/Contenedor

20': **20**

Nº de

cajas/Contenedor

40': **42**

Nº de cajas/Camión:

52

Peso Pared máx.

PCO	21 g.	4,18 mm.
	18,5 g.	3,3 mm.
BPF	21,6 g.	4,18 mm.
	19,1 g.	3,3 mm.

Preforma carbónica C102

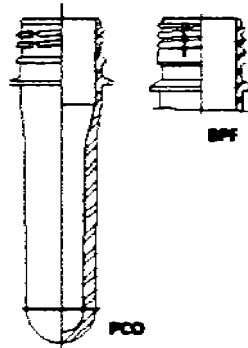
Aplicaciones

■ BST

Botellas de CSD o agua mineral con gas para 0,5 l.

○ LBS

Botellas de CSD o agua mineral con gas entre 0,5 l. y 1 l.
Botellas asimétricas para detergentes y cosmética entre 0,5 l. y 0,75 l.



Peso Pared
máx.

Ficha logística

Embalaje: **Cartón triple canal**
Unidades/Caja: **12.240**
Nº de cajas/Contenedor 20': **20**
Nº de cajas/Contenedor 40': **42**
Nº contenedores/Camión: **52**

PCO	
28 g.	4,11 mm.
26 g.	3,6 mm.
23 g.	2,9 mm.
BPF	
28,6 g.	4,11 mm.
26,6 g.	3,6 mm.
23,6 g.	2,9 mm.

Preforma carbónica C128

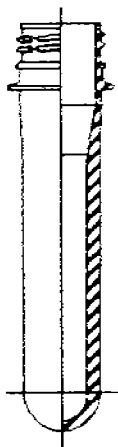
Aplicaciones

■ BST

Botellas de CSD o agua mineral con gas entre 1 l. y 1,5 l.

○ LBS

Botellas de alta orientación de CSD o agua mineral con gas en 1,5 l.



Ficha logística

Embalaje: **Cartón triple canal**

Unidades/Caja: **9.024**

Nº de cajas/Contenedor 20': **20**

Nº de cajas/Contenedor 40': **42**

Nº contenedores/Camión: **52**

Peso Pared máx.

PCO	40 g.	
	35,5 g.	4,25 mm.
		3,2 mm.

Preforma carbónica C135

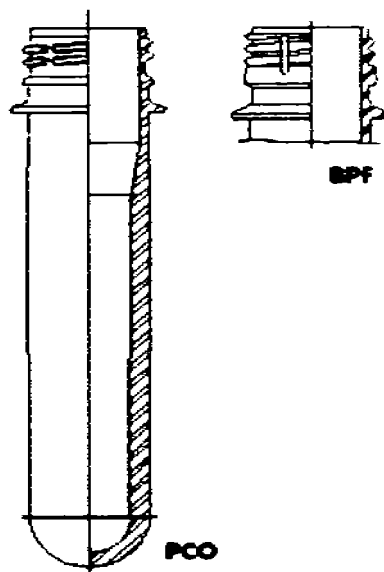
Aplicaciones

■BST

Botellas de CSD o agua mineral con gas entre 1,25 l. y 1,5 l.
Botellas asimétricas para detergentes y cosmética entre 0,75 l. y 1,25 l.

Ficha logística

Embalaje: **Cartón triple canal**
Unidades/Caja: **7.632**
Nº de cajas/Contenedor 20': **20**
Nº de cajas/Contenedor 40': **42**
Nº contenedores/Camión: **52**



Peso Pared
 máx.

PCO

45 g.	4,19 mm.
37,5 g.	3,14 mm.

BPF

45,5 g.	4,19 mm.
38 g.	3,14 mm.

Preforma carbónica C 148

Aplicaciones

■ BST

Botellas de CSD o agua mineral con gas entre 1,5 l. y 2 l.

□ LBS

Botellas de alta orientación de CSD o agua mineral con gas entre 1,5 l. y 2 l.

Ficha logística

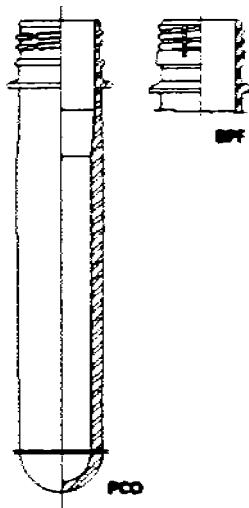
Embalaje: **Cartón triple canal**

Unidades/Caja: **6.720**

Nº de cajas/Contenedor 20': **20**

Nº de cajas/Contenedor 40': **42**

Nº contenedores/Camión: **52**



Peso Pared
máx.

PCO	48 g.	3,78 mm.
	43,5 g.	3,28 mm.
BPF	48,5 g.	3,78 mm.
	44 g.	3,28 mm.

Preforma carbónica C 155

Aplicaciones

■BST

Botellas de CSD o agua mineral
con gas entre 2 l. y 2,5 l.

□LBS

Botellas de CSD o agua mineral
con gas entre 2 l. y 3 l.

Ficha logística

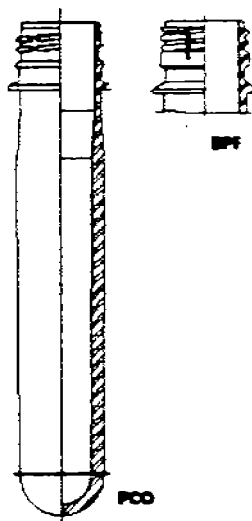
Embalaje: **Cartón triple canal**

Unidades/Caja: **6.144**

Nº de cajas/Contenedor 20': **20**

Nº de cajas/Contenedor 40': **42**

Nº contenedores/Camión: **52**



5.1.5 Preformas Agua W82

Aplicaciones

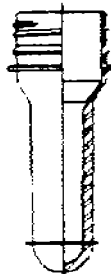
■BST

Botellas para agua mineral sin gas entre 0,25 l. y 0,5 l.

∩LBS

Botellas de alta orientación para agua mineral sin gas entre 0,33 l. y 0,5 l.

Botellas asimétricas para detergentes y cosmética entre 0,5 l. y 0,25 l.



Peso Pared
 máx.

W	17 g.	3,2 mm.
W	13,5 g.	2,1 mm.

Ficha logística

Embalaje: **Cartón triple canal**

Unidades/Caja: **17.280**

Nº de cajas/Contenedor 20': **20**

Nº de cajas/Contenedor 40': **42**

Nº contenedores/Camión: **52**

Preforma agua W 118

Aplicaciones

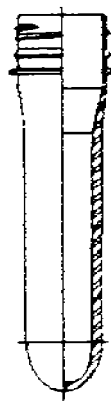
■BST

Botellas para agua mineral sin gas entre 0,75 l. y 1,5 l.

○LBS

Botellas de alta orientación para agua mineral sin gas entre 0,75 l. y 1,5 l.

Botellas asimétricas para detergentes y cosmética entre 0,5 l. y 0,75 l.



Peso Pared
máx.

W 29	3,16
g.	mm.

Ficha logística

Embalaje: **Cartón triple canal**

Unidades/Caja: **9.408**

Nº de cajas/Contenedor 20': **20**

Nº de cajas/Contenedor 40': **42**

Nº contenedores/Camión: **52**

Preforma agua W124

Aplicaciones

■BST

Botellas para agua mineral sin gas de 1,5 l.

○LBS

Botellas de alta orientación para agua mineral sin gas de 1,5 l.

Botellas para agua mineral sin gas de 2 l.

Botellas para detergentes y cosmética entre 1 l. y 1,25 l.



Peso Pared
máx.

W	39 g.	3,8 mm.
W	31 g	2,5 mm.

Ficha logística

Embalaje: **Cartón triple canal**

Unidades/Caja: **8.064**

Nº de cajas/Contenedor 20': **20**

Nº de cajas/Contenedor 40': **42**

Nº contenedores/Camión: **52**

5.1.6 Preformas Aceite 0120

Aplicaciones

■BST

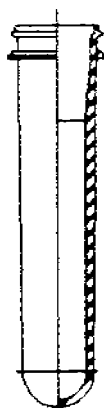
Botellas para aceite comestible de 1 l.

Botellas asimétricas para detergentes y cosméticos de 0,5 l.

○LBS

Botellas de alta orientación para aceite comestible de 1 l.

Botellas de alta orientación para detergentes y cosméticos de 0,5 l. y 0,75 l.



Peso Pared
máx.

○
28,5 g. 2,98 mm.

Ficha logística

Embalaje: **Cartón triple canal**

Unidades/Caja: **10.560**

Nº de cajas/Contenedor 20': **20**

Nº de cajas/Contenedor 40': **42**

Nº contenedores/Camión: **52**

Capítulo 6

EL PET Y SU SITUACION ACTUAL EN EL DISTRITO FEDERAL

La creciente demanda por parte de los consumidores ha impulsado de manera importante el desarrollo de nuevas tecnologías para el empaque y embalaje de diversos productos de consumo diario. La industria del empaque y embalaje es una de las más importantes en nuestro país, de hecho, se ha identificado que participa con el 1.16 por ciento del PIB y el 10.3 por ciento del PIB manufacturero.

Los materiales comúnmente utilizados para el empaque y embalaje a nivel nacional y de exportación son el vidrio, el metal, el papel, el cartón y el plástico, y de éstos, el plástico ocupa un lugar importante dentro de la industria (844 mil toneladas anuales, 8.9 Kg/persona - datos mostrados dentro de la justificación para la iniciativa de Ley Federal de Empaques y Embalajes, a cargo del Grupo Parlamentario del PVEM -), ya que posee características muy particulares que favorecen el manejo y distribución de productos, además de alta resistencia a pesar de ser un material liviano, estas características entre otras, han favorecido el desarrollo de esta industria, la mayor diversificación de estos productos y por supuesto, su consumo.

El PET (tereftalato de polietileno) es uno de los materiales comúnmente utilizados en la industria embotelladora de bebidas y del embalaje por sus características muy particulares que favorecen la distribución, el almacenaje y la presentación de algunos productos. Derivado de los altos niveles de consumo de estos productos, se tiene también grandes cantidades de residuos.

La Dirección General de Servicios Urbanos del Gobierno del Distrito Federal, reporta una disposición final de plásticos de 761.9 ton/día, dentro de éstas, 14.1 toneladas pertenecen a envases hechos de PET ocupando espacios innecesarios en las celdas de confinamiento del relleno sanitario de Bordo Poniente y con un tiempo de vida media muy largo. Según datos manejados por el PNUMA en 1996, una botella de PET tarda en degradarse 500 años dentro de un tiradero.

6.1 Aspectos generales

El tereftalato de polietileno, mejor conocido como PET, fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickson en 1941. La producción comercial de fibra de poliéster comenzó en 1955; desde entonces, el PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico hasta lograr un alto nivel de sofisticación basado en el espectacular crecimiento en la demanda del producto a escala mundial y a la diversificación de sus posibilidades de uso.

A partir de 1976 es que se usa para la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes principalmente para bebidas, sin embargo el PET ha tenido un desarrollo extraordinario para empaques.

En México se comenzó a utilizar para la fabricación de envases a mediados de la década de los ochenta y ha tenido gran aceptación por parte del consumidor así como del productor, por lo que su uso se ha incrementado de manera considerable año tras año.

Actualmente, el principal uso para la resina PET es la fabricación de envases para:

- Refrescos
- Aguapurificada
- Aceite comestible
- Alimentos
- Medicinas
- Productos de limpieza
- Productos de aseo personal
- Cosméticos, entre otros.

Proceso de elaboración de envases para la industria embotelladora

La resina se presenta en forma de pequeños cilindros o chips, los cuales, secos, se funden e inyectan a presión en máquinas de cavidades múltiples (16", 32", 64", etc.); de las que se producen las preformas, que son recipientes aún no inflados y que sólo presentan la boca del envase en forma definitiva.

Después, las preformas son sometidas a un proceso de calentamiento preciso y gradual, posteriormente se colocan dentro de un molde y se les estira por medio de una varilla o pistón hasta alcanzar su tamaño definitivo, entonces se les infla con aire a presión hasta que toman la forma del molde y se forma el envase típico.

Gracias a este proceso, las moléculas se acomodan en forma de red; esta disposición da al material propiedades de alta resistencia mecánica y baja permeabilidad a gases y vapores. Son estas características las que lo han convertido en un material ideal para el empaque y embalaje de algunos productos, ya que no requieren de cuidados especiales para su distribución.

A continuación, se describe el proceso completo de producción de un envase de PET, considerando desde la materia prima hasta el producto terminado. (diagrama1)

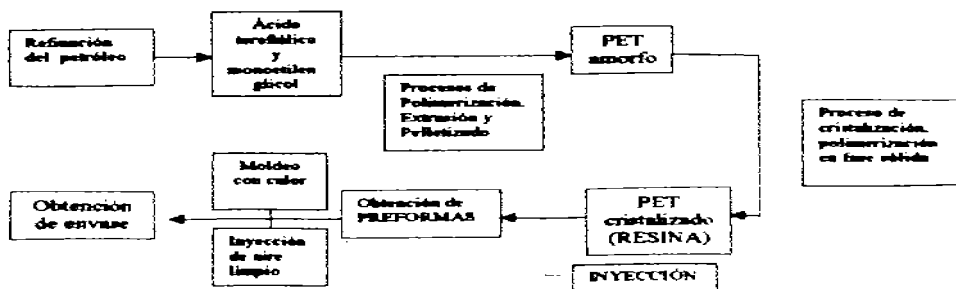


Diagrama de flujo para la producción del PET

Las líneas de productos de PET son tres:

- PET de grado textil

La primera aplicación industrial del PET fue la textil, durante la Segunda Guerra Mundial, para reemplazar a fibras naturales como el algodón o el lino. A diferencia de otras fibras sintéticas, al poliéster - nombre común con el que se denomina al PET de grado textil - se le reconocieron desde el primer momento unas excelentes cualidades para el proceso textil, entre las que cabe destacar su alta resistencia a la deformación y su estabilidad dimensional, además de otras propiedades como el fácil cuidado de la prenda tejida (lavado y secado rápidos sin apenas necesidad de planchado). Presenta también algunas limitaciones, tales como su difícil tintura, la formación de pilling (bolitas), la acumulación de electricidad estática y el tacto duro de los tejidos, problemas para los que ya se han desarrollado soluciones eficaces.

Ya sea como filamento continuo o como fibra cortada, el PET encabeza a los polímeros textiles. Se emplea para la producción de fibras de confección - es muy utilizado en mezclas de diversos porcentajes con el algodón - y para rellenos de edredones o almohadas, además de manufacturarse con él tejidos industriales de sustentación para cauchos, lonas, bandas transportadoras y otros numerosos artículos.

- PET de grado botella

La primera comercialización del PET de grado botella se llevó a cabo en los EE.UU., produciéndose en Europa a partir de 1974. Desde entonces ha experimentado un gran crecimiento y una continua demanda, debida principalmente a que el PET ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo - lo cual conlleva un beneficio añadido para el consumidor final.

Aunque comúnmente se asocia con el embotellado de las bebidas gaseosas, el PET tiene infinidad de usos dentro del sector. Su más reciente y exitosa aplicación ha sido en el envasado de aguas minerales, habiendo copado prácticamente el mercado en detrimento del PVC.

También se ha comenzado a utilizar el PET para el envasado de productos farmacéuticos, de droguería o alimenticios como salsas, mermeladas, miel. Su próximo reto es el envasado de leche y, sobre todo, de cerveza, mercados donde ya se han emprendido pequeñas pero decididas aproximaciones.

- PET de grado film.

El PET se utiliza también en gran cantidad para la fabricación de film: en la práctica, todas las películas fotográficas, de rayos X y de audio están hechas de PET.

Como se puede apreciar, la gama de productos que incluyen al PET es muy grande, y por consecuencia de los grandes niveles de consumo, la generación de residuos sólidos es considerable.

6.1.1 Identificación de plásticos

Existe un código de identificación mundial para los termoplásticos que los identifica con números del 1 al 7 dentro de un triángulo de flechas, normado en México en la NMX-E-232-SCFI-1999, ya que cada plástico tiene sus propiedades y aplicaciones específicas.



PET Envases muy transparentes, delgados, verdes o cristal, punto al centro del fondo del envase: de refresco, aceite comestible, agua purificada, alimentos y aderezos, medicinas, agroquímicos, etc.



PEAD Envases opacos, gruesos, de diversos colores, rígidos, con una línea a lo largo y fondo del cuerpo: de cloro, suavizantes, leche, cubetas, envases alimentos, etc.



PVC Envases transparentes, semidelgados, con asa y una línea a lo largo y fondo del envase: de shampoo, agua purificada, etc. También usado para mangueras, juguetes, tapetes, etc.



PEBD Principalmente usado para película y bolsas, de tipo transparente, aunque se puede pigmentar, de diversos calibres y también se usa para tubería y otros.



PP Plástico opaco, traslúcido o pigmentado, empleado para hacer película o bolsas, envases, jeringas, cordeles, rafia para costales y sacos, etc.



PS Hay dos versiones, el expansible o espumado (unicef o nieve seca) y el Cristal, empleado para fabricar cajas, envases y vasos transparentes pero rígidos.

6.1.2 Marco Legal y Financiero

Actualmente en la legislación ambiental mexicana existen preceptos relacionados a los residuos sólidos. La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) establece y define la distribución de competencias entre la Federación, los Estados, Municipios y el Distrito Federal para la gestión integral de los residuos.

También define los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo donde se consideran

I. La operación de los sistemas de limpia y disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios;

II. La generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen.

Queda establecido que el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales quedará sujeto a la autorización del Distrito Federal conforme a las leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas aplicables.

La Ley Ambiental del Distrito Federal considera que para evitar y controlar la contaminación del suelo, al medio ambiente en general y a la salud pública, es primordial establecer el manejo adecuado de los residuos sólidos municipales e industriales no peligrosos.

Con el propósito de promover el desarrollo sustentable y prevenir y controlar la contaminación del suelo y de los mantos acuíferos, la Ley atribuye a la Secretaría del Medio Ambiente, con la participación de la sociedad, fomentará y desarrollará programas y actividades para la minimización, separación, reuso y reciclaje de residuos sólidos, industriales no peligrosos y peligrosos.

Dentro del Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal (del 13 de diciembre de 1997, expedido por el ejecutivo, con firma del Lic. Ernesto Zedillo Ponce de León, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos) se contemplan algunos de los elementos para desarrollar programas de separación, con el fin de disminuir los volúmenes que se confinan y para elevar los niveles de reciclaje.

El Reglamento para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal (este Reglamento fue publicado en 1989, a partir de 1997, el D.D.F. pasó a ser el Gobierno del Distrito Federal) establece que corresponde al Departamento 1) la prestación del servicio de limpia y 2) la aplicación de las normas técnicas ecológicas vigentes para la recolección, tratamiento y disposición de residuos sólidos no peligrosos.

Dentro de este reglamento, se define que el servicio de limpia comprende:

I. El barrido de vías públicas y áreas comunes,

II. La recolección de residuos sólidos y

III. El diseño, instrumentación y operación de sistemas de almacenamiento, transporte, reuso, tratamiento y disposición final de dichos residuos.

En la Legislación Ambiental, existen Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX) que son aplicables y complementarias a los preceptos relacionados al manejo de los residuos sólidos y se pueden agrupar en:

Tratamiento y Disposición Final de residuos sólidos.

Generación de residuos sólidos: peso volumétrico, composición de los residuos sólidos, características físicas y químicas de los residuos sólidos municipales.

Las NMX son principalmente utilizadas para muestreos y no fijan límites máximos de elementos que pudieran estar presentes en los residuos sólidos.

Para el fomento de acciones tendientes a un adecuado manejo de los residuos sólidos, se han incluido en el Código Financiero para el Distrito Federal, instrumentos económicos aplicables para las labores de aprovechamiento de los residuos sólidos donde se menciona que las personas que realicen actividades empresariales de reciclaje, que coadyuven a combatir el deterioro ecológico, tendrán derecho a una reducción equivalente al 50%, respecto del Impuesto sobre Nóminas. Además indica que las empresas o instituciones que apoyen programas de mejoramiento de condiciones ambientales, tendrán derecho a una reducción equivalente al 50%, respecto del Impuesto sobre Nómina, lo cual puede ser un incentivo atractivo para la implementación y la participación en los programas de manejo adecuado de los residuos.

6.1.3 Producción de Plásticos

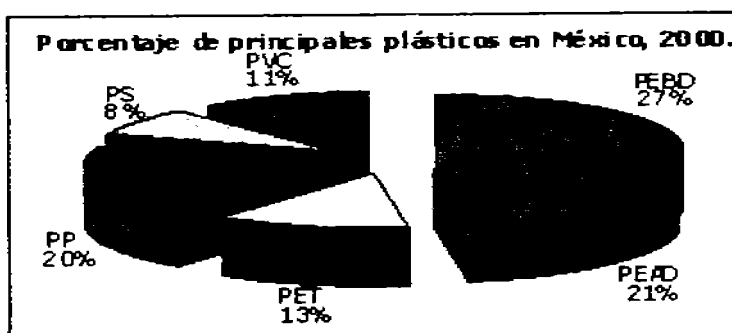
En 1996, según datos del PNUMA, el 4% de la producción de petróleo bruto se destinaba a la fabricación de plástico. También se realizó una estimación en donde se identificó que se requiere de 18.7 toneladas de petróleo para fabricar 3.74 toneladas de plástico.

La industria de los termoplásticos en México tiene una participación importante en la industria del envase y el embalaje a continuación se muestran los datos del año 2000 de los principales plásticos.(tabla 4)

Consumo de los principales Plásticos en el México, durante el año 2000

Plástico	Abreviatura	Miles de toneladas
Poliétileno de baja densidad	PEBD	870
Poliétileno de alta densidad	PEAD	658
Tereftalato de polietileno	PET	413
Polipropileno	PP	643
Poliestireno	PS	265
Policloruro de vinilo	PVC	355
	Total	3,204

Tabla 4



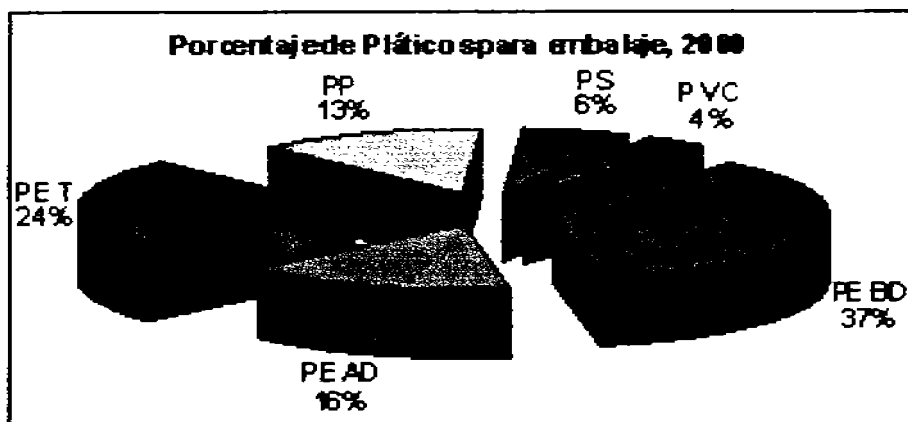
Grafica 12

FUENTE: APREPET, AC. 2001

APREPET menciona que el 52.48% de estos materiales plásticos fueron destinados a la fabricación de embalaje (grafica 12) ⁶.

Consumo de los principales Plásticos en el México para la fabricación de embalaje durante el año 2000 (grafica 13)

⁶ APREPET, AC.



Grafica 13

FUENTE: APREPET, AC. 2001

Según datos proporcionados por la Asociación Mexicana de Envases y Embalajes, por la Cámara Nacional de Fabricantes de Envases Metálicos, la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel, así como por Bancomext, SECOFI e INEGI durante 1998, la participación aproximada de la industria del plástico para la producción de envases a nivel nacional fue de 844 mil toneladas.

6.1.5 Consumo de productos envasados en PET

El PET es uno de los materiales más utilizados para el empaque y embalaje de diversos productos. Por las características de este plástico, los envases son ligeros, transparentes, brillantes y con alta resistencia a impactos, tienen cierre hermético, no alteran las propiedades del contenido y no son tóxicos. Es por ello que el PET ha desplazado a otros materiales y tiene una demanda creciente en todo el mundo.

En México, actualmente existen 5 plantas productivas que elaboran polímero en gránulo (chip) de PET. Durante el 2000 se produjeron en las plantas mexicanas 502,100 toneladas de PET, de las cuales se exportaron 75,000 toneladas, además se importaron 40,000 toneladas de este material. Se estima que para el año 2000 el consumo de PET a escala nacional fue de 467,100 toneladas. El crecimiento anual de la demanda de este material es de 13.1% (APREPET, Agosto 2001).

La composición del mercado de resina de PET en el año 2000 a escala nacional fue constituida de la siguiente manera.

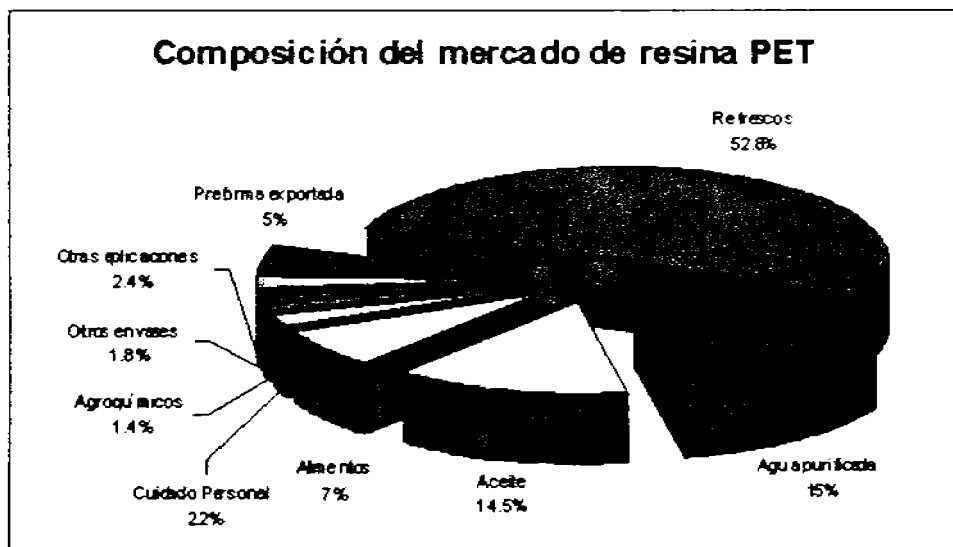
SEGMENTOS DE MERCADO DE RESINA PET, 2000.

Segmentos de mercado de resina PET 2000 (tabla 4)

Segmento	Porcentaje de mercado (2000)
Refrescos	52.8%
Agua purificada	14.9%
Acete	14.5%
Alimentos	7.0%
Cuidado Personal	2.2%
Agroquímicos	1.4%
Ucores	0.3%
Otros envases	1.5%
Otras aplicaciones	2.4%
Preforma exportada	5.0%
TOTAL	100%

Tabla 4

FUENTE: APREPET, AC. 2001



grafica 14

Como se observa en la grafica 14, el porcentaje más alto corresponde al envasado de refresco, seguido de agua purificada y el de aceite comestible.

Según estimaciones de la Asociación para Promover el Reciclaje del PET, A.C. (APREPET) la demanda de PET para fabricación de envases, que existe actualmente en el Distrito Federal es de 55,800 toneladas al año.

Para la industria de elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas, las botellas de PET se pueden dividir en:

RETORNABLES, que pueden utilizarse nuevamente después de su primer uso, mediante un sistema de limpieza y esterilización hasta 25 veces antes de que el producto pierda algunas propiedades (PNUMA 1996 TIERRAMERICA, Suplemento de Medio Ambiente para América Latina y el Caribe), y

NO RETORNABLES, que después de su primer uso, son material de desecho.

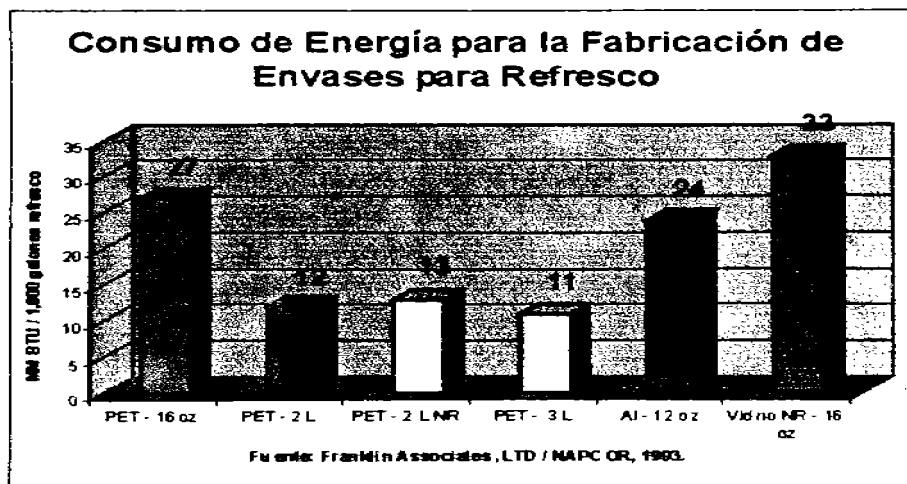
México es un país con un alto consumo percapita de refrescos carbonatados y otros productos envasados en botella de PET. Durante 1998, según lo muestra INEGI (INEGI, XV Censo Industrial, Censos Económicos 1999. Industrias Manufactureras, subsector 31. Producción de Alimentos, Bebidas y Tabaco), se consumieron 2'581,768 litros de refrescos embotellados en envase no retornable y las presentaciones más comunes fueron en volúmenes de 0.6, 1 y 2.5 litros.

También se consumieron 5'589,059 litros de agua purificada en envase no retornable en volúmenes de 0.5, 1 y 1.5 litros.

Para la producción de envases de refrescos y otras bebidas además de otros productos, se requiere de una gran cantidad de insumo, tales como, energía, petróleo, agua para los procesos, entre otros.

6.1.6 Producción de PET y algunas consideraciones ambientales

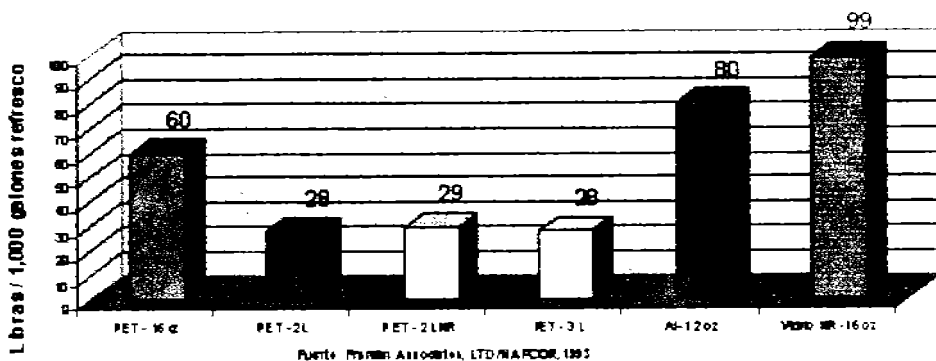
En 1993, se realizaron algunas estimaciones para conocer la cantidad de recursos necesarios para la elaboración de envases, lo anterior se presenta en las siguientes graficas: 15,16,17,18



grafica 15

Nota de abreviaciones: oz = onza; 2L = 2 litros; NR = no retornable; 3L = 3 litros Fuente: APREPET, 2001.

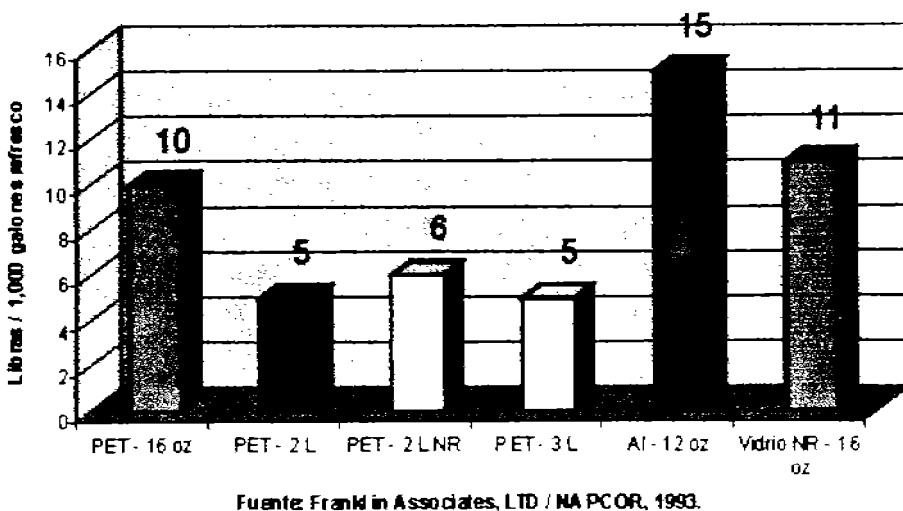
Emisiones Atmosféricas en la Fabricación de Envases para Refresco



grafica 16

Nota de abreviaciones: oz = onza; 2L = 2 litros; NR = no retornable; 3L = 3 litros FUENTE: APREPET, 2001

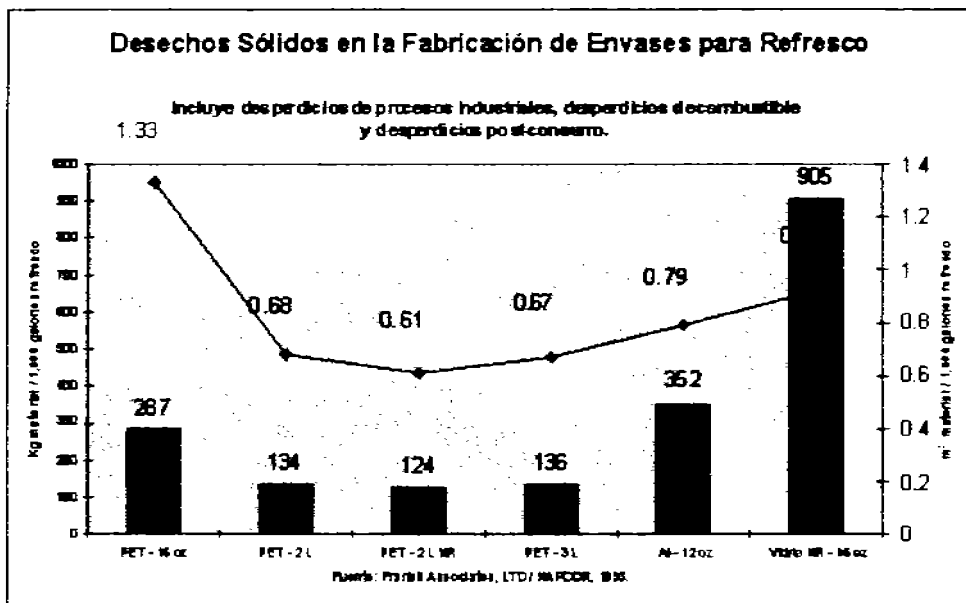
Emisiones a Efluentes en la Fabricación de Envases para Refresco



grafica 17

Nota de abreviaciones: oz = onza; 2L = 2 litros; NR = no retornable; 3L = 3 litros FUENTE: APREPET, 2001

Durante la producción de envases se generan residuos sólidos, y a este respecto, se puede apreciar en la siguiente gráfica el comparativo de residuos generados, con otro tipo de materiales para envases.



gráfica 18

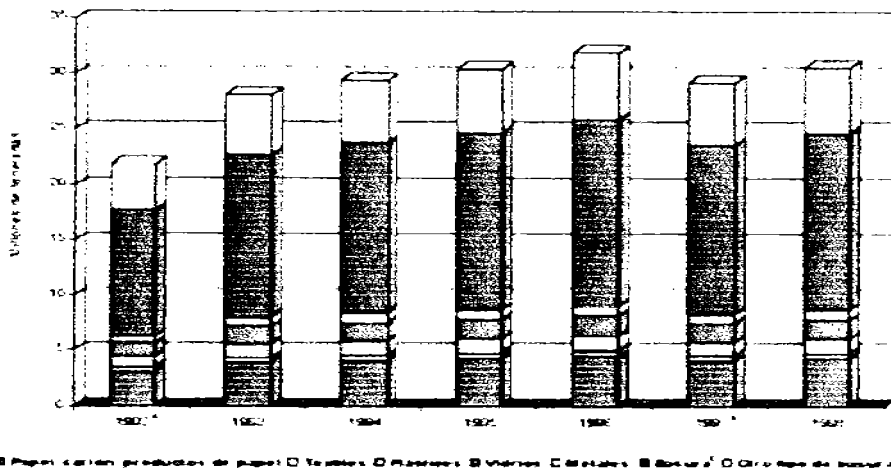
Nota de abreviaciones: oz = onza; 2L = 2 litros; NR = no retornable; 3L = 3 litros FUENTE: APREPET, 2001

Para la fabricación de resina PET, se han implementado algunas estrategias para minimizar los impactos adversos al ambiente durante la producción, de los cuales podemos mencionar, que se utiliza gas natural como fuente energética para la generación de vapor y para algunas fases de calentamiento, se han controlado las emisiones a la atmósfera a través de oxidadores térmicos, además del tratamiento de aguas residuales, entre otros.

6.1.7 Postconsumo de envases de PET

Como se mostró anteriormente, los niveles de consumo de productos envasados con este material plástico son muy altos, derivado de esto se estima que la generación de residuos de PET (post consumo de envases) es elevada, y según los estudios realizados en el ámbito nacional referentes a la generación de residuos sólidos municipales, muestran que uno de los mayores porcentajes es ocupado por los plásticos donde están presentes los envases de PET. Lo anterior

se muestra en la siguiente gráfica (19) que fue elaborada por SEDESOL, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, 1999.



grafica 19

a Cifras estimadas de acuerdo con los porcentajes de composición de los años posteriores con base en el total reportado para 1992, por la Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, SEDESOL.

b A partir de 1997 las cifras se ajustan con base en estudios de generación per cápita llevados a cabo en pequeñas comunidades, donde se ha encontrado que dicha generación es del orden de 200 a 350 gramos, cantidades inferiores a las reportadas para los años anteriores al año de referencia.

c Incluye basura de comida, de jardines y materiales similares.

d Incluye residuos finos, hule, pañal desechable, etcétera.

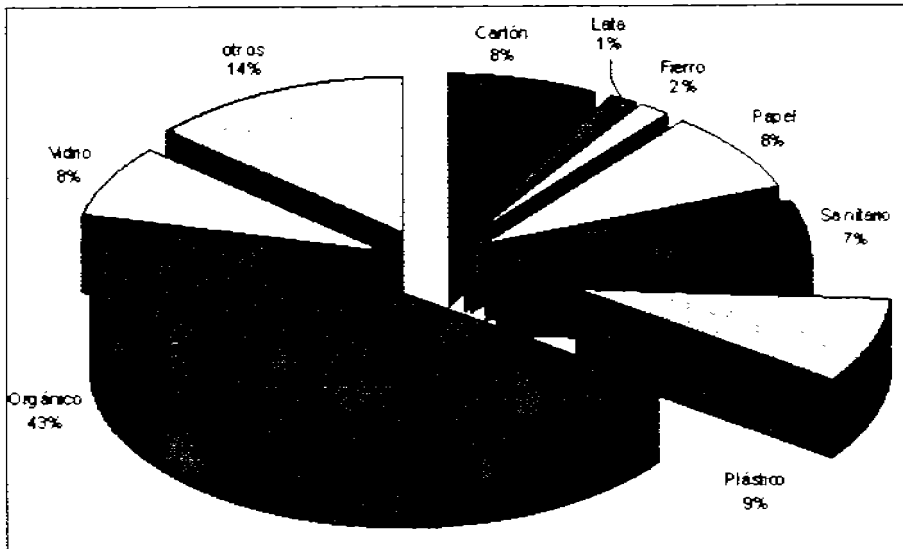
6.1.8 La composición de los Residuos Sólidos

La Dirección General de Servicios Urbanos ha realizado investigaciones de campo en donde se ha determinado la composición de los residuos generados en cinco sectores, para dar una muestra representativa. Estos datos son una herramienta importante para la planeación y para el control de los residuos sólidos municipales.

La siguiente gráfica muestra los datos recopilados por la Dirección General de Servicios Urbanos con investigaciones y muestreos en campo. Los datos

indican que la mayor cantidad de residuos corresponde al alimenticio de hogares, comercios y servicios; seguido de subproductos como plástico, cartón y vidrio.

Composición de los residuos sólidos municipales por fuente de generación en el Distrito Federal, 1997 grafica (20)



grafica 20

6.1.9 Manejo de Residuos Sólidos en el Distrito Federal

Actualmente el Gobierno del Distrito Federal, cuenta con un sistema de manejo de residuos sólidos que tiene una cobertura del 100% de la población. Para el óptimo desarrollo de este sistema, se encuentran articuladas en la operación, la Secretaría de Obras y Servicios a través de la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU) y las delegaciones políticas, e incluyen:

- La recolección domiciliaria y barrido de calles y vialidades.
- El transporte de los residuos a estaciones de transferencia.
- Transporte de los residuos de las estaciones de transferencia hacia cualquiera de las tres plantas de selección y recuperación de residuos.
- Disposición en el relleno sanitario de los residuos de las estaciones de transferencia y de las plantas de selección y recuperación de residuos.
- Los residuos sólidos una vez que se encuentran en las plantas de selección, son separados en subproductos. Dentro de los subproductos, el

plástico es uno de los materiales con mayores porcentajes de recuperación en estos sitios.

Toneladas de subproductos recuperados en las Plantas de selección y aprovechamiento de residuos sólidos en 1998 (tabla 4)

subproductos	BORDO PONIENTE	SAN JUAN DE ARAGON	SANTA CATARINA	PORCENTAJE	TOTAL
Papel	3,086.841	12,094.850	13,087.750	16.45	28,269.44
Cartón	1,926.186	7,658.130	12,520.050	12.86	22,104.37
Plásticos	9,237.030	11,831.470	24,760.490	26.66	45,828.99
Vidrio	8,643.257	9,527.720	26,249.290	25.84	44,420.27
Metal ferroso	3,750.061	4,240.570	14,951.650	13.35	22,942.29
Metal no ferroso	90,753.00	104,020.00	0.00	0.012	194.77
Otros	2,882.410	931.560	4,324.290	4.73	8,138.26
TOTAL	29,616.538	46,388.320	95,893.520	100	171,898.38

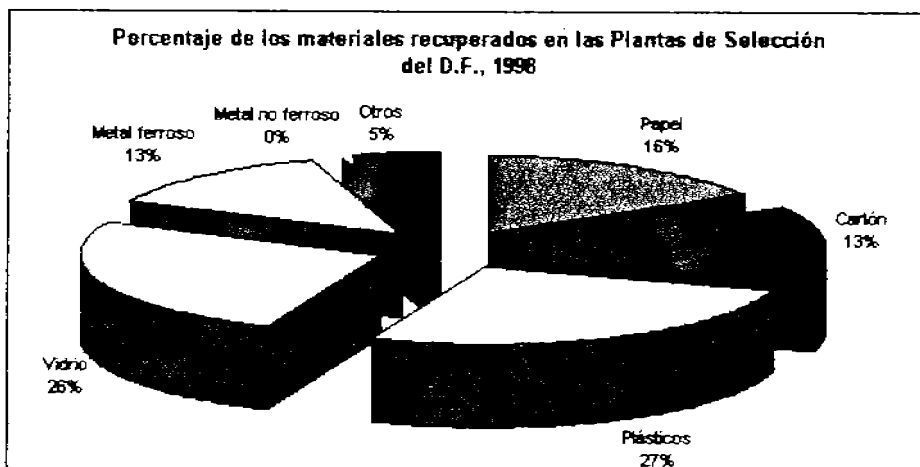
Tabla 4

Toneladas enviadas a plantas de selección: 1,678,807.298

Toneladas recuperadas: 171,898.378

Porcentaje global de recuperación: 10.239%

Fuente: Dirección General de Servicios Urbanos, GDF. 1998.



grafica 21

Fuente: Dirección General de Servicios Urbanos, 1998.

La Dirección General de Servicios Urbanos ha identificado a los plásticos dentro de la composición de la basura que es llevada para su disposición en el relleno sanitario de Bordo Poniente y los muestreos permiten distinguir que diariamente del total de los residuos (11,850 toneladas/día), 761.9 toneladas

corresponden a materiales plásticos y dentro de este volumen, 14.1 toneladas corresponden a envases de PET, que equivalen a 587,500 botellas de 600 ml; considerando un peso aproximado de 24 gramos cada envase.

Las características de estabilidad física y química del PET que son de gran utilidad para los productos y de las cuales se hace alusión en el apartado de Aspectos Generales; hacen que su degradación sea sumamente difícil (hasta 500 años) cuando se convierten en residuos, además de los grandes volúmenes que ocupan dentro de las celdas de disposición final. (Grafica 21)

6.1.10 Datos estadísticos sobre el PET

En la siguiente tabla (10) se resumen algunos datos estadísticos del PET para el año 2000.

DISTRITO FEDERAL	
Demanda de PET	55,800 t/año
Envases de PET recuperados	20,500 t/año
Porcentaje recuperado para reciclaje	36.7%
ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO	
Demanda de PET	124,000 t/año
Envases de PET recuperados	48,000 t/año
Porcentaje recuperado para reciclaje	38.7%
A NIVEL NACIONAL	
Demanda de PET	413,000 t/año
Envases de PET recuperados	71,300 t/año
Porcentaje recuperado para reciclaje	17.3%

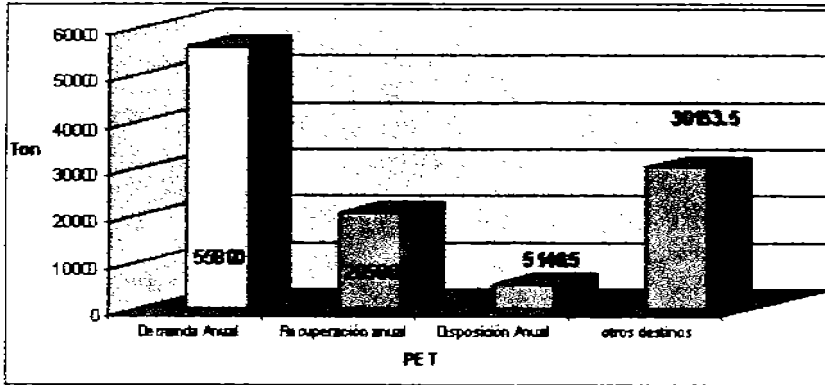
Tabla 10

Fuente: APREPET, A.C.

Considerando que de las 55,800 toneladas anuales de PET, consumidas por el Distrito Federal, se recuperan alrededor de 20,500 toneladas/año (APREPET, A.C.) (tasa de recuperación del 36.7%) y que se registran en el Relleno Sanitario de Bordo Poniente 5,146.5 toneladas/año. Puede decirse que aproximadamente un 54% del PET se encuentra:

- En almacén para su distribución o venta, o
- Dispuesto inadecuadamente en cauces, calles o tiraderos clandestinos.

Datos estadísticos del PET en el Distrito Federal, 2001 (grafica 22)



Grafica 22

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Regulación y Gestión Ambiental del Agua, Suelo y Residuos, 2001.

6.1.11 Efectos potenciales al ambiente

Hasta el momento, la información recabada no permite determinar la cantidad de envases de PET que se encuentran dispuestos inadecuadamente; sin embargo, es notoria su presencia en los cauces de corrientes superficiales y en el drenaje, provocando taponamiento del sistema y dificultades en los procesos de desazolve, lo que facilita inundaciones en la temporada de lluvias; además de generar "montañas" de envases en las orillas de los cauces de ríos. Los lotes baldíos representan también un fuerte foco de atracción para el desecho de diversos residuos, de entre los cuales destacan los envases de PET.

A pesar de que las características físicas y químicas aseguran que este material es inerte en el medio ambiente, el impacto visual que produce la inadecuada disposición de estos envases es alto y muy perceptible por la población.

6.1.12 Usos y aplicaciones del PET reciclado

La industria incorpora a sus procesos de producción, el material de PET reciclado. Este material debe cumplir con algunas especificaciones que dependerán para el uso o para el producto que se pretende fabricar, pero en general, se debe contar con un producto de excelente calidad.

Entre los productos que se elaboran a partir de PET reciclado, se pueden mencionar:

1. Fibra poliéster
 - Para relleno térmico
 - Para alfombras
 - Para ropa
 - Material de relleno
2. Combustible alterno
3. Madera Plástica
4. Envases de productos no alimenticios
5. Lámina plana
6. Lámina para termoformado
7. Fleje
8. Monofilamentos y Cabos

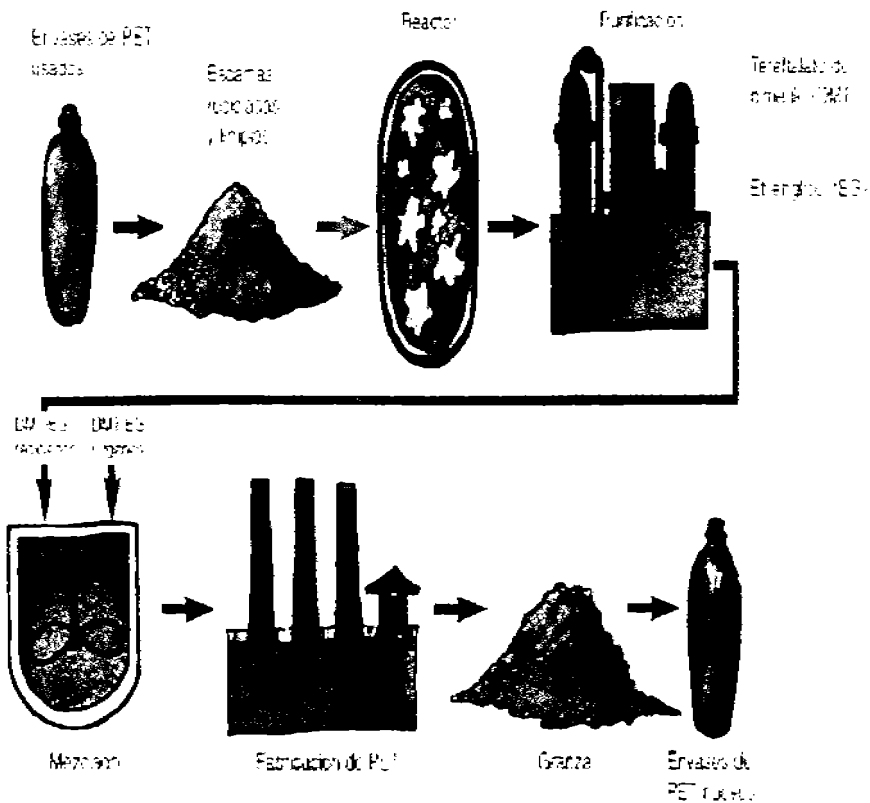
6.1.13 Opciones para el reciclaje de PET

Actualmente existen opciones para el reciclaje del PET que se recupera después del consumo. La recuperación de este material para reciclaje en el Distrito Federal es de 20,500 toneladas anuales, es decir, la tasa de reciclaje de PET es de 36.7%. Las opciones de reciclaje son:

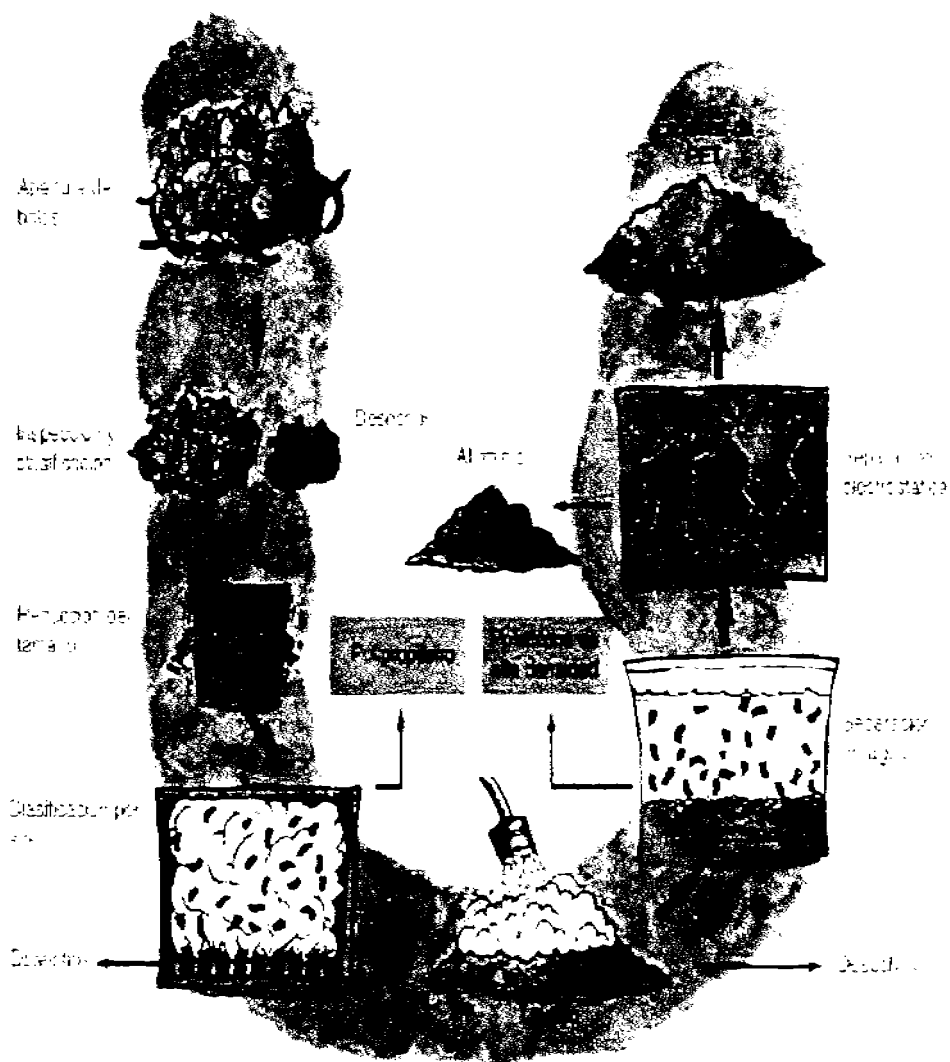
Para la generación de envases reciclados

- a. Tratamiento químico: metanólisis o glicólisis (esquema 4)

El proceso de metanólisis



Esquema 4



Esquema 5

b. Recidaje mecánico o físico

Es el usado en México y consiste en: lavar, separar los contaminantes, asegurar su calidad, moler, secar y almacenar.

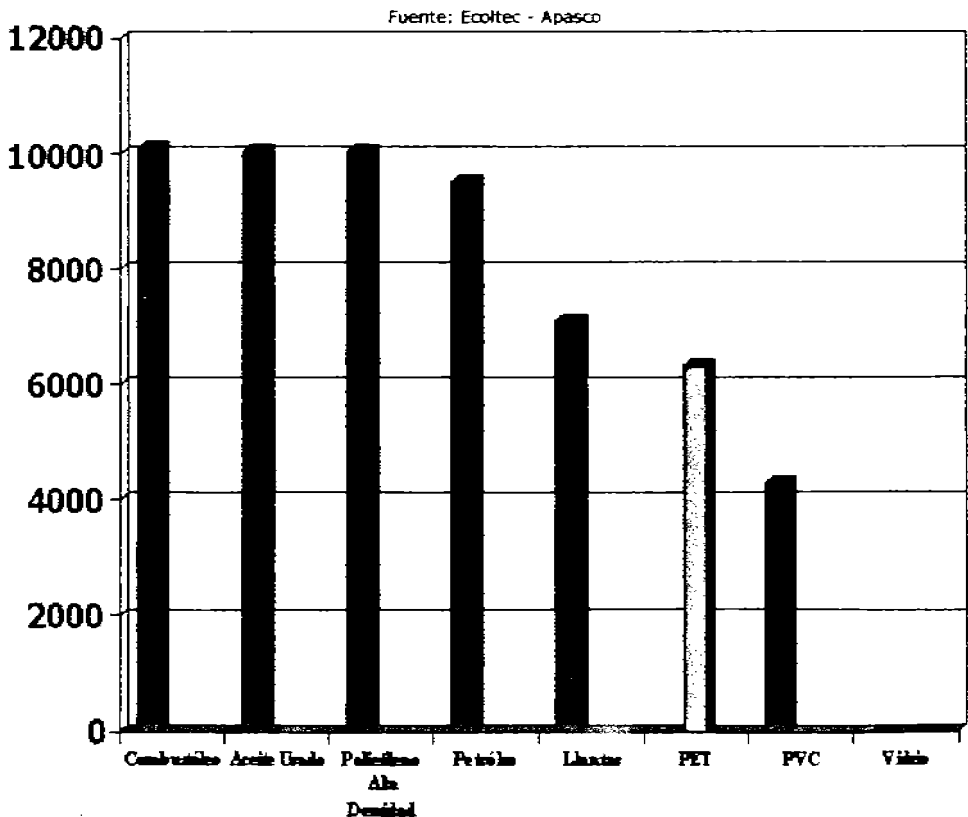
Como combustible alternativo

Tratamiento térmico o incineración con/sin recuperación de energía

Este método es para reutilizar los envases de PET aprovechando sus características químicas que le otorgan un alto poder calorífico (6.329 Kcal/Kg). Básicamente es utilizar el material como combustible alternativo en instalaciones adecuadas con infraestructura que evite la contaminación atmosférica, para dar cumplimiento a la normatividad ambiental vigente.

La siguiente grafica (23) muestra un comparativo entre materiales y su poder calorífico.

Comparativo de capacidad calorífica de diversos residuos utilizados como combustible alternativo



Capítulo 7

CASO PRACTICO

Durante el proceso de inyección de preforma se llegan a presentar problemas que no solo se atribuyen a una mala operación de los equipos o maquinas de inyección por parte del operador (aunque este ultimo sea el caso de error mas común que se presenta en el proceso). También debemos considerar aspectos que se llegan a presentar y que son ajenos a la persona que maneja estos equipos, en todo caso lo realmente importante de este punto es que tan rápido se detecte el problema y se le aplique una solución.

La presencia de puntos quemados, burbujas, marcas de cierre de molde (rebabas), y otros casos que se presentan durante el proceso son variables que deben de ser corregidas de manera rápida y eficiente para evitar problemas futuros ya sea en el proceso de soplado o incluso el rechazo de todo un lote de producción.

7.1 PUNTOS NEGROS

Este defecto es de los mas comúnmente presentados en los procesos de inyección y se refiere a la presencia de puntos negros en el cuerpo de la preforma, esto ocasionado por la degradación térmica del material, o la presencia de partículas contaminantes externas y que se inyecta en la cavidad. En este caso es recomendable verificar las temperaturas del grupo de inyección, del distribuidor de resina y de los tips de las cavidades en el molde ya que por descuido se pueden haber dejado altas durante el arranque de la misma o durante un ajuste de proceso.

Esto puede también ser ocasionado por el giro demasiado rápido del husillo, que genera una gran cantidad de temperatura debido a la fricción que se genera en el interior del grupo de inyección, lo cual a su vez también degrada el material ocasionando el mismo problema. Un caso similar se presenta cuando se tiene una condición de presión demasiado elevada, una vez mas la fricción vuelve a aparecer degradando las condiciones optimas de la resina plastificada.

En caso de haberse realizado un cambio de resina por otra, la cual tiene una viscosidad intrínseca mas elevada, entonces esto requerirá un incremento en la temperatura para lograr plastificarla, los puntos negros se pueden presentar en ese lapso, debido a que los restos de la resina anterior aun están presentes en el grupo de inyección.

Como se menciona ya una gran parte de los problemas en la inyección y en todos los procesos productivos se refieren a falla humanas, pero también debemos considerar otros factores como la posible contaminación de la resina con materiales externos como: papel, cartón, madera, trozos de empaque, etc. Los cuales se pueden presentar desde el abastecimiento de resina, en este caso podemos considerar la inspección de la trampa magnética, la tolva y la manguera de abastecimiento de resina para detectar restos extraños de contaminantes, así como también inspeccionar los sistemas transportadores, y en caso de utilizarlos verificar la limpieza de los reciclados.

7.1.2 BURBUJAS

Se puede definir a las burbujas como gas o aire atrapado en el material durante el proceso de plastificación debido a la compresión insuficiente del material plastificado. Esto es, al ir cayendo el material en la garganta (entrada de alimentación al husillo) del grupo de inyección, se presenta una falta de continuidad en la caída del mismo, por lo que quedan espacios o huecos que se llenan con aire, que no alcanza a ser expulsado del todo por los escapes del grupo de inyección y pasan hasta la preforma ocasionando estos huecos.

Puede presentarse también por el exceso de humedad en la resina debido a un insuficiente tiempo de secado del material, por lo que en este caso conviene, verificar la temperatura del secador, el punto de rocío, los flujos de aire, el nivel de resina en la tolva y el tiempo de estancia del material en esta..

Puede ocurrir también que la alimentación del husillo sea inconsistente, debido a una mala programación de los parámetros con los que deberá de trabajar la maquina, y al exceso de material reciclado que se puede llegar a emplear en la alimentación de la misma, por lo que se debe recalcular la proporción de reciclado a utilizar en las mezclas, y también verificar los parámetros de dosificación para que la maquina opere de forma adecuada.

Quizá también la resina no este uniforme en cuanto a viscosidad intrínseca y haya partes que se plastifiquen mas rápidamente que otras por lo que es conveniente verificar el lote de resina de manera frecuente o en todo caso elevar las temperaturas de la extrusora poniendo especial cuidado en no excederse y degradar el material provocando la aparición de puntos negros en la preforma, o incrementando la fricción del material ya sea con una mayor velocidad de giro del huso o una mayor presión de inyección, esto también elevara la temperatura y dará mayor fluidez al material.

7.1.3 VARIACIONES EN EL ESPESOR DE LA PARED

Un aspecto muy importante en cualquier proceso productivo se refiere a la exactitud en las dimensiones de la pieza o producto a fabricar, si no se cumple con este requisito se corre el riesgo de tener problemas posteriores con otras etapas del proceso o con la insatisfacción de los clientes a los que va dirigido este producto. En el caso específico de las preformas la necesidad de que se cumpla con las dimensiones de los espesores tanto en paredes como en la corona es un factor fundamental para el posterior tratamiento de la misma en este caso el soplado para la formación de la botella, este es un problema bastante común y en ocasiones difícil de detectar a simple vista y es en las mas de las ocasiones originado por un desvío del corazón del molde debido a elevada presión de inyección, esto es, debido a una excesiva presión de inyección el material se "atasca" dentro de la cavidad y se acomoda de manera desigual a lo largo del cuerpo de la preforma y al momento de ser enfriado queda con variaciones de espesor e inclusive de peso, además de que el corazón llega a sufrir deformaciones que afectan posteriores inyecciones. Para evitar este problema podemos reducir la presión de inyección usando solo la necesaria para llenar la cavidad, sin sobrellenar de material la misma, reducir la velocidad de inyección, no es necesaria una velocidad demasiado alta de inyección, ya que el espesor de las paredes no es tan delgado y nos permite jugar un poco mas con este parámetro. Podemos también disminuir la presión de segunda fase, esta presión se refiere a la presión de retensión que la preforma requiere durante el enfriamiento para guardar su forma final, pero mucho cuidado por que si esta presión es demasiado elevada, lo que se provoca es que la preforma se contraiga demasiado contra el corazón de la cavidad quedando en el mejor de los casos adherida a el y en el peor llegando a deformarlo. Aquí influye mucho también el tiempo de presión de

segunda fase o sostenimiento ya que quizá la presión de retención sea la correcta pero si el tiempo de retención es demasiado elevado entonces el corazón sufrirá los mismos daños que con una presión de retención demasiado elevada.

A la entrada del molde contamos con un distribuidor de material llamado manifold, el cual determina a base de temperaturas que cantidad de material pasa a cada sección del molde, en caso de que las temperaturas de este distribuidor este mal balanceadas por consecuencia habrá una mala distribución del material acumulándose mas en una sección que en otra este acumulamiento excesivo de material en una sección del molde ocasiona un relleno excesivo de las cavidades y por ende volvemos a caer en un problema similar al del exceso de material inyectado, lo cual por consecuencia ocasiona variaciones en los espesores de las paredes del molde.

La precisión en los procesos como vemos es muy importante y esto también involucra a el personal de mantenimiento, el cual debe de verificar que todos los corazones y cavidades del molde estén perfectamente alineados con esto podemos evitar un daño mayor a los moldes y a las preformas que estemos inyectando. Una revisión periódica de los corazones y las cavidades, es forzosa cada que el molde esta fuera de uso. Esto implica verificar el estado de los corazones y de las cavidades. Verificar los desgastes indebidos en coronas, anillos de bloqueo, guías, los tubos de enfriamiento de los corazones, para asegurar que estén rectos y en correcta posición así como verificar que estos tubos no estén tapados ya que al no contar con el enfriamiento necesario, estos sufrirán deformación al irse calentando el corazón en cada inyección, ocasionándole deformaciones permanentes a estas piezas del molde.

7.1.4 MARCAS DE CIERRE DE MOLDE O REBABAS

Se refiere a la formación de delgadas ranuras de material entre las superficies adyacentes de los componentes del molde, principalmente se presentan en la corona, ya que es la parte de unión en el molde. Y es que el material se ve forzado a penetrar en la línea de partición y áreas de ventilación a efecto de una excesiva dosis de material inyectado. En este caso se recomienda verificar la cantidad de material que esta siendo inyectada en el molde ya que podría ser excesiva lo cual provoca que la presión de cierre sea insuficiente para mantener sellado el molde. Así mismo también se recomienda verificar la presión de sostenimiento y la de inyección, que podrían también ser las causas del mismo problema, ser demasiado grandes para la fuerza que se opone a su flujo. Quizá también el material este fluyendo por las líneas de partición y áreas de ventilación debido a que la viscosidad del material es demasiado baja, en este caso se recomienda reducir las temperaturas primero de las cavidades del molde, después del distribuidor del molde y por ultimo las calefacciones del grupo de inyección.

También en este caso podemos reducir la velocidad de inyección ya que al entrar el material al molde con una velocidad menor, se permite que este se vaya enfriando durante el llenado de la cavidad. Verificar el enfriamiento de los moldes ya que las válvulas de entrada o de salida del agua pueden estar cerradas o la

tubería bloqueada, por lo que no hay garantía en cuanto a la presión. Temperatura y circulación de agua fresca y no hay manera de enfriar las preformas.

Verificar la viscosidad intrínseca de la resina para determinar las temperaturas con las que se deberá de procesar. Y en caso de un cambio de resina purgar perfectamente el cilindro de inyección para evitar queden residuos de la resina anterior.

La fuerza de cierre es insuficiente para retener la presión con la que esta siendo inyectada la preforma y esto permite que el molde se abra ligeramente, esto lo podemos corregir realizando el calculo de la fuerza de cierre necesaria para absorber la presión de inyección y la cantidad de material inyectado $P = F / A$

7.1.5 TIRO CORTO "PREFORMAS INCOMPLETAS"

La corona o rosca es la parte mas alejada del punto de inyección, y por ende es la mas difícil de llenar aparte del detalle de su forma ahí llevara la tapa la botella, es un parte determinante en el proceso de llenado de la preforma, y es aquí donde se presenta un tiro de este tipo ya que no alcanza a ser llenada la cavidad del molde en su totalidad, esto tiene varios orígenes entre los que destacan: la inyección de material plastificado es insuficiente; el material que estamos utilizando para llenar el molde no es suficiente y no alcanza para llenar todas las cavidades del molde, aquí es necesario aumentar la dosis de inyección, y aumentar la presión de segunda fase, con lo anterior lograremos que el material sea suficiente para llenar el molde y la presión de segunda fase nos servirá de apoyo para evitar la contracción del material dentro del molde al momento de estar enfriando la preforma.

La velocidad de inyección es demasiado baja, el material al entrar al molde comienza a ser enfriado y si no se le aplica la suficiente velocidad este no alcanzara a llenar las cavidades ni a colocar la dosis de inyección completa lo que ocasionara un paro de la maquina por tiempo de inyección demasiado largo. Para remediar esto hay que elevar la velocidad de inyección y/o la presión de inyección para conseguir el llenado del molde e inyectar la dosis completa de material.

Si la viscosidad intrínseca del material es demasiado elevada, se restringirá el adecuado flujo del material plastificado, recordar que a mayor viscosidad intrínseca se requerirá de una mayor temperatura para hacerla fluir durante el proceso de inyección, por esto si la viscosidad intrínseca de la resina es elevada, lo que necesitamos es mayor temperatura, mayor presión de inyección o mayor velocidad de giro del husillo para aumentar la fricción del material contra este y las paredes del cañón.

Las temperaturas como se menciona en el párrafo anterior son un factor también determinante para evitar o solucionar este problema, ya que si tenemos

una temperatura demasiado baja en cualquiera de las secciones ya sea cilindro de plastificación, distribuidor, o en las boquillas de inyección nos arrojará la misma consecuencia la dificultad del material a fluir libremente dentro del molde.

Verificar el correcto funcionamiento de las válvulas "check" quizás el movimiento de las agujas de las válvulas de las boquillas no sea el correcto, lo que restringe el flujo apropiado al interior de la cavidad, en la cavidad contamos con una válvula de no retorno, la cual al completarse la inyección se cierra impidiendo que el material regrese por el propio punto de inyección en ocasiones estas válvulas se atascan o se bloquean por lo que es necesario limpiarlas o cambiarlas y en caso de no ser posible cancelar los puntos de inyección afectados hasta que se realice el mantenimiento al molde.

Conclusiones- Recomendaciones

El PET permite que muchos productos lleguen al consumidor de forma higiénica y segura. Se usa principalmente en la industria alimenticia; por ejemplo, para envasar refrescos, agua purificada, aceite comestible, vinagre, cajeta, aderezos y miel, medicamentos, licores, limpiadores líquidos, productos para el aseo personal y agroquímicos, entre otros.

La constante demanda de nuevos y mejores productos origina una constante investigación y mejora a los productos ya existentes, nuestro estudio confirma lo útil que un material como el Pet se ha vuelto de acuerdo a las necesidades de los consumidores debido a sus características físicas y mecánicas y debido también a su bajo costo, por lo menos menor que el del vidrio, además de otras que se han mencionado durante el desarrollo de la presente tesis.

Sin embargo, no debemos descuidar el aspecto ecológico ya que debido a la lenta degradación de este material el manejo de los desechos se está convirtiendo en un gran problema ya que el nivel de reciclaje con el que se cuenta no alcanza ni se compara con el nivel de producción que el Pet ha alcanzado.

Todo nuestro trabajo termina con la preforma. Es el punto de partida de nuestra acción y el objetivo final al que se orienta. Una vez que la preforma para el envase ha sido diseñada, analizada funcionalmente y una vez comprobada su viabilidad técnica y comercial, podemos pensar en producirlo en escala industrial. En proyectos específicos, la preforma nos da la ventaja de ser tan maleable para llegar hasta el producto final.

Es decir un producto final capaz de aportar determinadas presentaciones funcionales, capaz de cumplir con unas especificaciones concretas, y capaz de integrarse con plena eficacia en el sistema productivo,

ANEXO

(PET) polietilen-tereftalato

Es un polímero termoplástico o poliéster saturado

PUNTO DE ROCIO.

La temperatura a la cual se debe de enfriar la corriente de aire seco para formar la primera gota de condensado. Debido a que el punto de rocío es una medida absoluta y no se relaciona con la temperatura ambiental, el punto de rocío es la más ideal como medida de la humedad en el aire.

HUMEDAD RELATIVA

Cantidad de humedad en el aire a la cantidad máxima que puede tener el aire sin condensación a esa temperatura.

TEMPERATURA DE BULBO SECO

Temperatura del aire tomada con cualquier tipo de termómetro.

(AA) ACETALDEHIDO

El acetaldehído se forma por degradación térmica de la resina de PET. La cantidad de AA que se genera depende de las condiciones del proceso de moldeado y de la estabilidad térmica de la resina de PET.

(IV) VISCOSIDAD INTRINSECA

La viscosidad intrínseca (IV) es un valor que caracteriza el largo promedio que tiene la cadena del polímero de PET, la cual es proporcional al peso molecular de la resina. IV está directamente relacionada con las propiedades físicas de las preformas moldeadas y de las botellas que se soplan de ellas, por lo que cualquier pérdida de IV es un detrimento para la calidad del producto. Se mide por medio de un viscosímetro de material polimerizado o por el método de prueba en dl/g.

(Tg) temperatura de transición vítrea

Temperatura de transición vítrea la cual es causada por el movimiento browniano de las moléculas en la fase amorfa.

(Tf) temperatura de fusión

temperatura de fusión la cual es causada por el movimiento de traslación de las moléculas de la fase cristalina hacia la fase amorfa.

(ppm) partes por millón

(Tc) temperatura de cristalización

(Cp) capacidad calorífica

(ΔH_f) Calor de fusión

(ΔH_c) calor de cristalización

(Δtr) calor de reacción

"Master Batch"

pellets de PET con alta concentración de pigmento

"Isostatica"

Estructura que posee el mínimo de vínculos indispensables para asegurar su estabilidad.

Resistencia a la abrasión

Mayor o menor facilidad de un material a ser afectado por una acción mecánica como frotamiento, rascado o erosión

Resistencia a la tracción

Es la fuerza necesaria para romper una determinado material.

Elongación a la rotura: es la capacidad de algunos materiales de alargarse cuando se ven sometidos a un esfuerzo de tracción entre sus dos extremos

Resistencia al desgarro: se define como la fuerza necesaria para romper un material sometido a tracción en direcciones opuestas.

Resistencia a la flexión: es la capacidad que tiene un material de recuperar de nuevo su estructura, tras haber sido doblado un número de veces, y en un ángulo determinado.

Resistencia al impacto: es la fuerza que es capaz de desarrollar un material para contrarrestar la caída de un objeto de un peso determinado sobre él antes de romperse.

Brillo ("gloss")

Es la propiedad de algunos materiales plásticos de reflejar la luz que incide sobre ellos.

Transparencia

Es la variación del ángulo que una luz incidente sufre al pasar a través de un material plástico transparente. Este valor da idea de las impurezas que existen en el material.

Turbidez ("haze")

Puede denominarse también, por oposición, opacidad y es el porcentaje de luz transmitida que ha pasado a través de un plástico transparente.

Propiedades mecánicas

Tracción, flexión, compresión, impacto, abrasión, rasgado, inflamabilidad.

Bibliografía.

- MECANICA TECNOMAQ
- ANIPAC (Asociación Nacional de Industrias del Plástico) y la Revista Ingeniería Plástica revista 13
- INDESCA
Investigación y Desarrollo, C. A.
- Aprepet A.C
- REPINDEX 59: MANEJO AMBIENTAL DEL PLASTICO
septiembre 1996 ISSN: 0252-7987
- Asociación Mexicana de Envase y Embalaje, A.C.
- Diseño de moldes de inyección de termoplásticos
Materiales Plásticos - Materiales
- Enciclopedia de la Ciencia y de la técnica "Océano"
- Asociación Mexicana de Envase y Embalaje, A.C.
- Celanese mexicana, S.A. de C.V
- Enciclopedia Encarta® 1998, Microsoft® Corporation
- Diccionario Enciclopédico Salvat