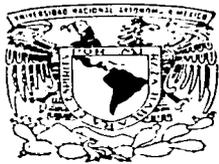


10529
26



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

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



Departamento de
ENVASE Y EMBALAJE DE ALIMENTOS
Ingeniería Profesional

"CRITERIOS DE SELECCION DE MATERIALES DE CIERRE DE
ENVASES DE BEBIDAS CARBONATADAS"

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
ABRAHAM VARGAS MEDRANO

ASESOR: DR. JOSE LUIS ARJONA ROMAN

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO

2002

A

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

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



J. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

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

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

Envase y Embalaje de Alimentos

"Criterios de selección de materiales de cierre de

envases de bebidas carbonatadas"

que presenta el pasante: Abraham Vargas Medrano

con número de cuenta: 9113956-2 para obtener el título de :

Ingeniero en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de Septiembre de 2002

MODULO

PROFESOR

FIRMA

II

Dr. José Luis Arjona Román

III

M. en C. Ma. de la Luz Zambrano

III

I.A. Víctor Manuel Avalos Avila

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

B

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy gracias a Dios por haberme dado vida, salud y el razonamiento para lograr mis objetivos.

Gracias a mis padres por su apoyo incondicional durante toda mi vida, en especial a mi Madre, la cual debe saber que la quiero y que es gracias a ella, a su esfuerzo y dedicación que he logrado terminar mis estudios.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México; a todos mis profesores que desde el bachillerato compartieron sus conocimientos y experiencias para enriquecer y complementar mi formación.

Gracias a todos mis compañeros y amigos de los cuales he aprendido y he compartido momentos muy especiales de mi vida (Adolfo, Ruy, Evelia, Claudia, Pedro, Laura, Leonel, Rodrigo, Héctor, Román R., Román M., Oscar, Ernesto, Rocío, Claudia, Lucía, Mariam, El mudo, Alfredo, Abif, los que me faltan y a Norma Alicia por su apoyo y comprensión)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE

| | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Índice de cuadros | iv |
| Índice de figuras | v |
| Definición del problema | vi |
| Objetivos | vi |
| INTRODUCCIÓN | viii |
| Capítulo 1. Antecedentes | |
| 1.1 Bebidas Carbonatadas | 1 |
| 1.1.1 Definición | 1 |
| 1.1.2 Clasificación | 2 |
| 1.2 Elaboración | 3 |
| 1.2.1 Ingredientes | 3 |
| 1.2.2 Preparación de jarabe | 8 |
| 1.2.3 Saneamiento de equipos de proporcionamiento, carbonatación y llenado. | 9 |
| 1.2.4 Lavado de botellas | 10 |
| 1.2.5 Deaireación | 11 |
| 1.2.6 Proporcionamiento. | 11 |
| 1.2.7 Carbonatación. | 12 |
| 1.3 Envasado | 13 |
| 1.3.1 Función del envase | 14 |
| 1.3.2 Sistemas de llenado | 16 |
| 1.3.3 Materiales de envase para bebidas carbonatadas | 17 |
| 1.3.3.1 Vidrio | 17 |
| 1.3.3.2 Aluminio | 20 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.3.3.3 | PET | 20 |
| 1.3.3.3.1 | Especificaciones de la botella | 23 |
| 1.3.3.3.2 | Características de fabricación de la botella | 23 |
| 1.3.4 | Cierres | 24 |
| 2 | Capítulo 2. Metodología | |
| 2.1 | Descripción de la metodología | 29 |
| 3 | Capítulo 3. Situación tecnológica | |
| 3.1 | Sistemas de Cierre | 34 |
| 3.1.1 | Tapas | 34 |
| 3.1.2 | Funciones del cierre o tapado | 35 |
| 3.1.3 | Clasificación de tapas | 37 |
| 3.1.4 | Tapas de hojalata | 38 |
| 3.1.5 | Tapas de aluminio | 39 |
| 3.1.6 | Tapas de plástico | 41 |
| 3.1.6.1 | Proceso de fabricación de tapas plásticas | 43 |
| 3.1.6.2 | Descripción de la tapa plástica | 44 |
| 3.2 | Liners | 46 |
| 3.2.1 | Fabricación de liners | 47 |
| 3.2.2 | Factores para seleccionar liners | 48 |
| 3.3 | Manejo y aplicación de taparroca | 48 |
| 3.3.1 | Condiciones ideales para el transporte de Tapa plástica en sistemas automáticos de alimentación | 48 |
| 3.3.2 | Prueba de aplicación de tapa plástica. | 51 |
| 3.3.3 | Torque de Remoción e Incremento | 52 |
| 3.3.3.1 | Teoría del torque de incremento, pérdidas y ganancias | 54 |
| 3.4 | Propiedades físicas y mecánicas de los plásticos. | 58 |
| 3.4.1 | Falla mecánica de los polímeros | |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| y especificaciones ASTM | 67 |
| 3.4.2 Datos de comportamiento | 69 |
| 3.5 Materiales plásticos utilizados en la elaboración de tapas. | 70 |
| 3.6 Criterios de selección de cierres | 75 |
| 3.6.1 Criterios de selección de materiales para tapas de bebidas carbonatadas. | 76 |
| 3.7 Perspectivas de materiales para la elaboración de tapas | 80 |
| | |
| CONCLUSIONES | 82 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 84 |

Índice de cuadros

| | Página |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Cuadro 1. Composición de bebidas carbonatadas. | 4 |
| Cuadro 2. Defectos en los envases de vidrio | 19 |
| Cuadro 3. Comparación en las propiedades de barrera del PET y otros materiales plásticos | 22 |
| Cuadro 4. Interpretación de resultados en prueba de sellado de tapa. | 52 |
| Cuadro 5. ASTM D 4000, especificaciones de materiales plásticos | 68 |
| Cuadro 6. Métodos de prueba ASTM | 69 |
| Cuadro 7. Propiedades de barrera del Polipropileno y otros materiales | 72 |
| Cuadro 8. Comparación de las propiedades del polipropileno con polietileno y otros materiales | 74 |

Índice de figuras

| | Página |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1. Diagrama de requerimientos de envasado de productos alimenticios | 15 |
| Figura 2. Perfiles de la boca de botellas de vidrio y plástico | 26 |
| Figura 3. Formas de rosca | 27 |
| Figura 4. Cuadro metodológico | 33 |
| Figura 5. Tapas de hojalata | 38 |
| Figura 6. Tapas de aluminio | 40 |
| Figura 7. Tapas inviolables de plástico | 43 |
| Figura 8. Tapa plástica | 45 |
| Figura 9. Sistema neumático de Transporte de Tapas | 50 |
| Figura 10. SST (Secure Seal Tester) | 51 |
| Figura 11. Variaciones en el torque incremental | 53 |
| Figura 12. Absorción de agua en algunos polímeros termoplásticos | 60 |
| Figura 13. Curva de esfuerzo-deformación del policarbonato | 62 |
| Figura 14. Curva de esfuerzo-deformación del PEBD | 62 |
| Figura 15. Curvas de esfuerzo-deformación de 3 tipos de plásticos | 64 |

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema que se plantea para el desarrollo del presente trabajo se relaciona con los materiales plásticos utilizados en el envasado de bebidas gaseosas; en este caso específico se enfoca en el cierre del envase, el cual está considerado como parte fundamental del mismo, ya que es conjuntamente responsable de otorgar la funcionalidad de apertura-cierre y de conservar las características del producto. De lo anterior se plantea el identificar los criterios que influyen en la selección del material de cierre para las bebidas carbonatadas; esto en función de conservar las características de carbonatación en este tipo de bebidas.

El enunciado que describe el problema planteado es el siguiente:

"Criterios de selección de materiales de cierre de envases de bebidas carbonatadas"

Para dar respuesta al problema anterior, se plantean los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL:

Identificar los criterios de selección de materiales para la elaboración de los sistemas de cierre, considerando las características de proceso y envasado de las bebidas carbonatadas en envases PET con la finalidad de conservar las especificaciones de carbonatación del fabricante.

Objetivo Particular 1:

Analizar el proceso de elaboración y envasado de bebidas carbonatadas para identificar los puntos que influyen en la selección de materiales de cierre.

Objetivo particular 2:

Analizar el sistema de cierre, aplicación y características de los materiales más usados en el envasado de bebidas carbonatadas en botellas de PET para identificar los factores que influyen en la selección de tapas y liners, en función del mantenimiento de la presión de llenado.

INTRODUCCIÓN

Los inicios de la industria de las bebidas carbonatadas se remontan a los últimos años del siglo XVII.

Las botellas de vidrio fueron originalmente los únicos envases usados para el embotellado de estos productos, y es en la segunda mitad del siglo XX cuando se comienzan a utilizar otro tipo de envases como latas de aluminio y botellas de plástico.

Tras la tímida introducción de las botellas PET en la Industria del Embotellado hace unos años, ha sido el consumidor quien ha pedido el PET a los embotelladores, por su transparencia, ligereza en el transporte, irrompibilidad, etc. Además, el menor coste de la resina lo ha convertido en uno de los envases más económicos del mercado, para todo tipo de productos. Los tests de prueba efectuados por varias marcas de cerveza en EE.UU. hacen pensar que también la cerveza se consumirá en botella de PET en un futuro muy inmediato. *(Alimentación, Equipos y Tecnología, 1999)*

Paralelo al desarrollo de nuevos materiales como el PET para el envasado de productos alimenticios, y puesto que las formas de los recipientes evolucionaron, llegaron a ser más variadas y complejas; nuevas formas de sellado entraron también en uso debido a la importancia del mismo para lograr la integridad del producto.

La tapa es reconocida como un elemento importante de la mayoría de los envasados porque es un medio por el cual los consumidores interactuamos con el envase. Un tapado efectivo puede mejorar en gran medida la utilidad y funcionalidad de casi cualquier envase. Un cierre ineficiente, que es muy fácil o

difícil de abrir, rápidamente genera quejas y reclamaciones de los consumidores.

El cierre o tapado es un elemento fundamental como parte complementaria de un envase, ya que es gracias a éste que se ha extendido la comercialización de productos alimenticios; el cierre permite mantener el producto que contiene el envase aislado de agentes externos que pueden ocasionarle cambios en sus propiedades físicas y sensoriales; sin embargo, para que esto se lleve a cabo es necesario que exista compatibilidad entre los materiales de envase y cierre con los del producto a contener, además de una serie de pruebas de simulación de las condiciones a las cuales será expuesto el envase durante su almacenamiento y manejo hasta llegar al consumidor, e incluso a las condiciones a las cuales las someterá éste. Todo esto con el fin de obtener un adecuado sistema de cierre que permita lograr lo antes expuesto.

El presente trabajo consiste en una revisión sobre el proceso de fabricación de bebidas carbonatadas, en la cual se incluyen las materias primas y envases, con la finalidad de identificar que factores son importantes de controlar o de conocer para lograr un adecuado sistema de cierre, el cual nos permita conservar las especificaciones de carbonatación del fabricante.

CAPITULO 1. Generalidades.

1.1 Bebidas Carbonatadas

Hay varias clases de bebidas que no se consumen por su valor nutritivo, sino por su poder de quitar la sed o por sus efectos estimulantes; en este tipo de bebidas se incluyen las bebidas carbonatadas, las cuales deben considerarse alimentos importantes en el sentido más amplio, ya que se elaboran a base de ingredientes alimenticios, están sujetas a las Leyes de Salubridad, se consumen en cantidades verdaderamente enormes, y en algunos países y áreas pueden tomarse con mayor seguridad que el agua de abastecimiento local. (*Potter, 1995*)

Con relación a lo anterior, México ocupa el segundo lugar como país consumidor de bebidas carbonatadas con un consumo per. cápita de 228 lt. y una tendencia de crecimiento anual del 18 %, ocupando el primer lugar los Estados Unidos y seguido de Canadá y Reino Unido. (*Alfa Editores Técnicos, 1995*)

Las tecnologías de la producción de las bebidas carbonatadas, constituyen estudios complejos, de manera que en el presente capítulo se revisarán algunos de los aspectos más relevantes de su elaboración y envasado.

1.1.1 Definición.

Las bebidas carbonatadas son una mezcla de agua e ingredientes que le confieren sus características de sabor y color, a las cuales se les añade dióxido de carbono (puede ser antes o después a la adición de saborizante, si es el caso), el cual es 1,5 veces aproximadamente más denso que el aire y es soluble en agua en una proporción de un 0,9 de volumen del gas por volumen de agua a 20°C. (*1993-2000, Microsoft Corporation.*)

En relación con lo anterior la FDA dicta la siguiente norma de identidad para el agua de soda: "es la clase de bebidas preparadas por absorción de dióxido de carbono en agua potable". La cantidad de CO₂ no es menor que la que se

absorbería a una atmósfera de presión y a una temperatura de 15.6°C. La norma de identidad también describe a otros ingredientes que pueden agregarse al agua de soda. Estos incluyen edulcorantes, ácidos, sabores, colores, conservadores, y muchos otros ingredientes opcionales.

Los edulcorantes pueden ser formas líquidas o en polvo de azúcar, azúcar invertida, dextrosa, fructosa, jarabe de maíz, jarabes de glucosa, sorbitol o cualquier combinación de dos o más de ellos. (*Desroiser, 1996*)

La carbonatación puede realizarse antes o después de la adición de jarabe, pero no después de la adición de porciones sólidas de frutos. El grado de carbonatación se mide en "volúmenes", siendo el número de volúmenes de CO₂ a 0° C y a 1 atm. disueltos en un volumen unidad de líquido. Un volumen es equivalente a aproximadamente 2 g/l. Unos grados normales de carbonatación son: (*Mc Farlane, 1997*)

- bebidas de frutas 2 g/l
- ginger ale 9 g/l
- agua de soda 12 g/l

1.1.2 Clasificación de bebidas carbonatadas (*Bureau 1996*)

- Bebidas carbonatadas sin alcohol
 - Saborizadas
 - Jugos de frutas carbonatados
 - Bebidas de frutas carbonatadas
 - Sodas
 - Sin edulcorantes
 - Agua natural mineral
 - Agua de mesa
 - Agua mineralizada

1.2 Elaboración de bebidas carbonatadas

Las bebidas carbonatadas, están por lo general endulzadas, saborizadas, aciduladas, coloreadas, y a veces conservadas mediante un aditivo químico. Sus orígenes datan de la época greco-romana en que las aguas minerales eran apreciadas por sus propiedades "medicinales" y refrescantes. Sin embargo, no fue hasta 1767 cuando Joseph Priestley descubrió una manera de carbonatar el agua por medios artificiales, y así la industria de las bebidas carbonatadas tuvo su inicio. En uno de los primeros métodos empleados, se obtenía el dióxido de carbono mediante la acidificación de bicarbonato de sodio o carbonato de sodio, y el uso de éstas sales sódicas originó el nombre "soda", que todavía se usa a pesar de que, el CO_2 ya no se obtiene de esta manera. (*Bureau, 1996*)

1.2.1 Ingredientes.

Como se mencionó en la sección 1.1.1 el agua de soda puede contener muchos ingredientes opcionales, pero si cualquiera de ellos es un aditivo para alimento o un color dentro de los especificados por las leyes locales, debe utilizarse sólo de acuerdo con las reglamentaciones emitidas por dichos organismos regulatorios. De esta manera los ingredientes requeridos pueden ser utilizados en la proporción necesaria para lograr los efectos que se buscan (*Desroiser, 1996*)

Los principales ingredientes de las bebidas carbonatadas son azúcares, saborizantes, colorantes, ácidos, agua y dióxido de carbono. En el cuadro 1 se muestran algunas de las composiciones típicas en cuanto a algunos de sus ingredientes, sin embargo, los productos tienden a variar de acuerdo al fabricante y en ocasiones puede variar también de acuerdo al área geográfica; por otra parte las empresas transnacionales tienden a estandarizar la composición de sus bebidas con la finalidad de obtener una misma calidad de producto. En el cuadro 1 podemos observar que existe una relación entre el contenido de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Bx}$) y el volumen de carbonatación, de tal manera que en las bebidas con un volumen de carbonatación mayor se

presenta un menor contenido de sólidos solubles, lo cual se refleja también en el pH que es mas bajo en las bebidas con altos volúmenes de carbonatación. En el caso de la acidez, se observa que es mayor en los productos que presentan un contenido elevado de sólidos solubles, lo cual indica que es consecuencia del mayor contenido de concentrados de fruta o saborizantes de la misma bebida.

Cuadro 1. Composición típica de bebidas carbonatados

| Sabor | *Bx | Volumen de gas | Ácido % | PH |
|-----------------|------|----------------|---------|-----|
| Cola | 10.5 | 3.4 | 0.09 | 2.6 |
| Cerveza de raíz | 9.9 | 3.3 | 0.04 | 4.0 |
| Ginger ale | 9.5 | 3.8 | 0.10 | |
| Vainilla | 11.2 | 2.6 | 0.02 | |
| Limón y lima | 12.6 | 2.4 | 0.10 | 3.0 |
| Naranja | 13.4 | 2.3 | 0.19 | 3.4 |
| Cereza | 12.0 | 2.4 | 0.09 | 3.7 |
| Frambuesa | 12.3 | 3.0 | 0.13 | 3.0 |
| Uva | 13.2 | 2.2 | 0.10 | 3.0 |

(Potter, 1995)

Sacarosa. Es el endulzante principalmente utilizado en la elaboración de las bebidas carbonatadas, el cual se adquiere del fabricante en forma de jarabe puro e incoloro o bien en su forma cristalizada. El azúcar contribuye no sólo con calorías y dulzura a la bebida, sino que también le da cuerpo y una textura que se aprecia en la boca. Por esta razón cuando se hacen bebidas dietéticas con edulcorantes no nutritivos para sustituir al azúcar, se requiere también un ingrediente adicional, como carboximetil celulosa o pectina, para darles cuerpo. (Potter, 1995)

Fructosa. Es otro de los edulcorantes utilizado en la elaboración de bebidas carbonatadas, que por lo general se emplea en mezclas con sacarosa, en menor o mayor proporción dependiendo de varios factores como son los económicos y sensoriales del producto final. La fructosa se ha empleado como amortiguante ante las variaciones en los precios del azúcar de caña, sin embargo, el sabor final del producto difiere de otros elaborados con azúcar únicamente y con mezclas de ambos, lo cual puede repercutir en el gusto del consumidor y por tanto en su decisión de compra.

La fructosa al igual que la sacarosa deberá manufacturarse, almacenarse y transportarse bajo condiciones sanitarias apropiadas para productos alimenticios y debe cumplir con los requisitos y regulaciones locales. *(Centro de Desarrollo del Sistema Coca-Cola, 2000)*

Saborizantes. Estos existen en forma de compuestos saborizantes sintéticos, extractos de sabores naturales, y concentrados de jugos de fruta. Tienen que permanecer estables bajo las condiciones ácidas de la bebida y bajo la exposición a la luz durante el tiempo que se le otorga como vida útil al producto terminado. No es necesario que permanezcan estables a temperaturas por arriba de los 40°C, porque estas bebidas por lo común no se esterilizan ni se pasteurizan. Los sabores de cola contienen generalmente una fuente de cafeína, que es un leve estimulante. Cuando se emplean derivados de frutas que contienen aceites que imparten sabor, es preciso agregar un agente emulsionante a fin de impedir que los aceites se separen en la bebida. Pequeñas cantidades de gomas solubles en agua, son los principales emulsionantes utilizados para estos casos.

Colorantes. Los mas importantes agentes colorantes empleados en los refrescos son los sintéticos. Estos han sido aprobados por la Secretaría de Salubridad, y todos tienen que satisfacer normas de pureza estrictas en su fabricación. También se emplea comúnmente el color obtenido del azúcar caramelizado, que no es sintético. Se prefieren estos materiales colorantes a

los colores naturales de la fruta, debido a su mayor fuerza colorante y su mayor estabilidad.

Ácido. El dióxido de carbono en solución contribuye a la acidez, pero se le suplementa con ácido adicional en la mayoría de las bebidas carbonatadas. Los principales ácidos utilizados son en fosfórico, cítrico, tartárico y málico. Con excepción del ácido fosfórico, todos estos son importantes ácidos naturales de la fruta, y el cítrico es el que más se usa.

Además de mejorar el sabor, el ácido ejerce acción preservativa en las bebidas, que no se someten a tratamientos térmicos. Sin embargo, a menos que haya un control sanitario muy estricto durante la elaboración de los refrescos, el pH contribuido por el ácido, aún en combinación con jugos de fruta ácidos, no es suficiente para asegurar la estabilidad microbiológica prolongada. (*Potter, 1995*)

Agua. El agua es el principal ingrediente de las bebidas carbonatadas y puede representar hasta el 92 % de la bebida. Es esencial que tenga el grado máximo de pureza química factible comercialmente, ya que los rastros de impureza tienden a reaccionar con diversos componentes de la bebida.

El nivel de alcalinidad tiene que ser bajo a fin de prevenir la neutralización del ácido empleado en la bebida, lo cual alteraría su sabor y disminuiría su estabilidad. Los niveles de hierro y magnesio tienen que ser bajos a fin de prevenir las reacciones con agentes colorantes y componentes saborizantes. El cloro residual debe ser casi inexistente, ya que afectaría el sabor de la bebida. La turbidez y el color deben de ser mínimos, de preferencia menor que la regulación local de turbidez para agua potable, para que no se afecte la apariencia del producto.

A fin de satisfacer estas normas para el agua, las embotelladoras generalmente la someten a tratamientos como la precipitación química de los minerales, deionización, filtración, filtración por carbón activado para la eliminación de olores, sabores y cloro residual, filtración final por papel para eliminar rastros que pueden haber pasado por el filtro de carbón, y deaireación para eliminar

oxígeno. Aunque el abastecimiento de agua en la embotelladora se puede controlar satisfactoriamente, por estos métodos, el verdadero problema surge cuando los jarabes y extractos de sabor se envían a diversos lugares en donde se despachan desde fuentes de soda y máquinas automáticas. En estos lugares el agua tiende a variar y con frecuencia no se ajusta a las especificaciones estrictas de la embotelladora. Entonces la calidad de la bebida se altera y varía de un lugar a otro, aun cuando la fórmula del jarabe permanece constante. (Centro de Desarrollo del Sistema Coca-Cola, 1999)

Dióxido de carbono. En la industria de las bebidas gaseosas, una característica de éstos productos es el gas carbónico (bióxido de carbono), el cual le da una apariencia efervescente y espumosa, y un sabor muy agradable a la bebida (ácido y picante), ya que el CO₂ presenta ciertas características ácidas (La cantidad de gas que se disuelve en un volumen dado de agua aumenta al aumentar la presión parcial del gas. El 1% del gas que se disuelve reacciona con el agua y forma *ácido carbónico*). El CO₂ ofrece una característica adicional benéfica, y esta es que funge como un *bacterio-estático*, esto quiere decir que *inhibe* el crecimiento microbiano; este beneficio se reduce y hasta se pierde cuando en el seno del líquido se encuentra incorporado otro tipo de gas indeseable (aire), ya que los microorganismos requieren de éste para su desarrollo, aunado a que si el sello de la botella o lata no es totalmente hermético, existe escape de CO₂ y la subsecuente entrada de aire contaminante al interior, además que durante el proceso de carbonatación se dificulta la absorción del gas carbónico. Por otra parte la cantidad de CO₂ empleada varía según, el sabor y la marca.

El dióxido de carbono debe fabricarse y almacenarse en las condiciones adecuadas para aditivos alimentarios y debe cumplir todas las leyes y reglamentos aplicables (nacionales y locales) en el lugar de fabricación y recepción.

Comercialmente el dióxido de carbono se recupera de los gases de hornos de calcinación, de los procesos de fermentación, de la reacción de los carbonatos

con los ácidos, y de la reacción del vapor con el gas natural, una fase de la producción comercial de amoníaco. El dióxido de carbono se purifica disolviéndolo en un solución concentrada de carbonato alcalino y luego calentando la disolución con vapor. El gas se recoge y se comprime en cilindros de acero. (Microsoft Corporation © 1993-2000.).

1.2.2. Preparación de jarabe.

En la elaboración del jarabe para la producción de bebidas carbonatadas deberán considerarse los siguientes factores:

- Todos los equipos deberán ser de acero inoxidable (304 o 316)
- Las superficies en contacto con ingredientes o jarabe deberán ser pulidas.
- Los tanques deberán dimensionarse de acuerdo a la demanda y deben permitir un completo drenaje.
- Todos los tanques deberán tener facilidades para efectuar Clean in Place (CIP)

La elaboración del jarabe comienza con la disolución del azúcar y/o fructosa dentro de un tanque de disolución a un tiempo y velocidad de agitación controlados. Esta solución de azúcar y/o fructosa se conoce como jarabe simple, el cual se deberá filtrar para eliminar impurezas. Una vez que el jarabe simple cumple con la especificación de turbidez del embotellador, se procede a vaciarlo al tanque de jarabe terminado, en donde se le agregan los concentrados de frutas, aditivos, colorantes, etc., que el producto a elaborar requiera, en este momento se comienza la agitación del tanque y la adición de agua para ajustar a la concentración de °Bx. deseados.

Cabe destacar la importancia de la agitación en el proceso de elaboración del jarabe terminado, ya que de esto depende la incorporación y homogenización del concentrado a la solución.

Otro factor importante a considerar es la inversión de los jarabes debido a que la sacarosa en solución y en presencia de ácido (presente en algunos tipos de concentrados) rompe su estructura, la reacción es conocida como inversión:



Al desdoblarse en fructosa y glucosa aumenta el peso molecular total de ambas moléculas por efecto de la integración de agua.

por efecto de la inversión parte del agua se integra al proceso y hay una disminución del volumen total del jarabe. (Centro de Desarrollo del Sistema Coca-Cola, A.C, 2000).

1.2.3 Saneamiento de equipos de proporcionamiento, carbonatación y llenado.

La industria mexicana, ha modificado en los últimos años sus procesos con el fin de incrementar la productividad y la calidad de sus productos para cumplir con las exigencias del mercado; al modificar los procesos, se hace notorio el modificar las actitudes del personal y así, trabajar con mayor eficiencia. Para tener una idea clara de que actitudes son las adecuadas se establecieron lo que se conoce como Buenas Prácticas de Manufactura (BPM's). Dentro de éstas, encontramos que uno de los puntos principales de todo proceso, es la limpieza de equipos e instalaciones así como la higiene personal.

A continuación se definen algunos de los conceptos que se emplean en relación a las BPM's.:

Limpieza: es la actividad realizada para eliminar toda la suciedad (física, química o microbiológica) depositada en las instalaciones y equipos de fabricación.

Desinfección: es una labor que permite eliminar todos los microorganismos indeseables que permanecen en las superficies de los materiales después de una limpieza.

Proceso de saneamiento o desinfección:

Dentro de las industrias embotelladoras el proceso de saneamiento de equipos se realiza mediante el proceso CIP (clean in place), que como su nombre lo indica es un proceso mediante el cual se realiza el saneamiento de los equipos sin la necesidad de desmontarlos (por medio de recirculación en tuberías y de aspersion en tanques); este proceso consta de las siguientes fases:

Fase 1. Preenjuague. Se realiza para eliminar los residuos de gran tamaño después de una fabricación además de disolver azúcares.

Fase 2. Alcalino. En esta etapa se circula el detergente alcalino para disolver las proteínas y evitar la coagulación, las grasas y los lípidos son emulsificados con la ayuda de los demás componentes del detergente.

Fase 3. Enjuague intermedio. Elimina los residuos disueltos por el detergente alcalino y elimina los residuos del detergente.

Fase 4. Ácido. Disuelve las incrustaciones de sales minerales provenientes del agua y de la leche.

Fase 5. Enjuague final. Elimina restos del producto ácido y los minerales en suspensión. (FMR, 1998)

1.2.4 Lavado de botellas

La presentación de un envase impecable es una de las condiciones fundamentales en la manufactura de un producto alimenticio. La botella en la

cual se vende un refresco al público, refleja la integridad de su bebida. Esta botella debe impresionar favorablemente al consumidor.

El objeto del lavado de botellas es el de obtener un envase impecable. Aún en los procesos en los cuales el soplado de los envases de PET se hace dentro de la planta de embotellado, es necesario enjuagar la botella ya formada en su parte interior con agua tratada (de la misma calidad de la usada en el embotellado) a una concentración de 2 ppm de cloro. En algunos casos (si el soplado no se realiza en planta) será necesario antes del ejuague con agua, inyectar aire estéril (filtrado) deionizado para eliminar partículas de polvo o papel adheridas por estática en las paredes internas del envase.

El proceso de lavado de botella tiene dos fines: *(Lozano 1974)*

- Eliminación de toda suciedad y materias extrañas que fueran responsables de provocar la descomposición o el deterioro de la imagen del producto.
- Eliminar microorganismos que pudiesen causar enfermedades.

1.2.5 Deaireación del agua para elaboración de las bebidas carbonatadas.

Previo a la mezcla con el jarabe y la carbonatación final es necesario eliminar el aire contenido en el agua con el fin de optimizar el proceso de absorción de CO₂. En este sistema el dióxido de carbono reemplaza al aire contenido en el agua. El CO₂ es inyectado directamente en el contenedor del agua previo al proporcionamiento. La presión y concentración de dióxido de carbono aumenta, lo cual fuerza al aire a salir de la solución. El aire es eliminado por medio de una válvula de purga. En este proceso el agua adquiere un sabor ligeramente ácido debido a la absorción de CO₂, sin embargo se requiere de otro proceso adicional para lograr el efecto efervescente de las bebidas carbonatadas. *(Bureau, 1966)*

1.2.6 Proporcionamiento.

El proporcionamiento es la operación en la cual se mezclan el jarabe y el agua de proceso. Se bombea un jarabe de sabor que contiene todos los ingredientes

del refresco salvo el agua restante y el CO_2 a un aparato de distribución llamado porporcionador. A la vez se bombea agua deaireada al mismo aparato, en el cual se realiza la mezcla que es controlada por la presión de entrada de ambos componentes y la presión interna del proporcionador. De aquí pasa la mezcla hacia el carbonatador para la incorporación del CO_2 . (Mc Farlane, 1997)

1.2.7 Carbonatación

La carbonatación es la característica que presenta un líquido cuando esta integrado en su estructura una cierta cantidad de bióxido de carbono. Un proceso de carbonatación es aquel en el cual se incorpora o adiciona gas carbónico en un líquido de forma artificial; es decir, por medio de equipos diseñados para tal fin.

El grado de carbonatación se refiere a la cantidad en que éste se encuentre disuelto en el producto, lo cual es función del área de contacto entre el líquido y el gas, así como de la presión ejercida por el mismo en el equipo carbonatador, ya que mientras más delgada sea la película de líquido y mayor la presión ejercida por el CO_2 se romperá más fácilmente la tensión superficial del líquido y por lo tanto se facilita la absorción del gas. (Microsoft Corporation © 1993-2000.)

Por otro lado, cabe mencionar que si se desea que se integre a la estructura molecular del líquido únicamente el CO_2 , y que éste permanezca en el mismo sin escapar, debemos considerar la pureza del CO_2 , ya que si éste presenta gases indeseables como el aire, éste por tener menor grado de solubilidad que el bióxido de carbono (50 veces menos soluble), tenderá a escapar cuando haya pasado cierto tiempo, restándose la carbonatación inicial del producto.

Para obtener una completa y rápida carbonatación, se deberá de ampliar la superficie de contacto entre el agua y el CO_2 . Para lo cual existen dos tipos de carbonatadores:

1. **Placas ensambladas:** en este tipo de carbonatador, el líquido es enfriado durante el proceso de carbonatación. El líquido se bombea desde el proporcionador a una velocidad de flujo constante. Una vez dentro del carbonatador, el líquido se deberá mantener bajo presión constante de CO_2 . El líquido pasa primero a través de una charola de acero inoxidable con pequeños orificios en el fondo los cuales a su vez permiten el paso de pequeños flujos de líquido hacia las placas colocadas verticalmente debajo de la charola y las cuales se encuentran enfriadas en su interior con amoniaco. De esta manera el líquido se enfria hasta 2°C aprox. mientras que absorbe el CO_2 del ambiente a presiones de hasta 4 Kg/cm^2 . De esta manera el efecto combinado de la temperatura y la presión permiten que el líquido absorba la cantidad de CO_2 que el tipo de bebida requiera.
2. **Cámara de atomización:** en este tipo de carbonatador, el líquido es bombeado hacia el carbonatador, mientras se mantiene bajo una presión controlada de CO_2 . Conforme entra el líquido al carbocooler se hace pasar a través de un atomizador el cual lo divide en miles de pequeñas gotas las cuales incrementan la superficie de contacto ente el gas y el líquido, cuando las gotas caen en el fondo del carbonatador ya han absorbido la cantidad deseada de CO_2 . *(Bureau, 1966)*

1.3 Envasado

El envasado es una parte integrante del proceso de elaboración de las bebidas carbonatadas. Cumple dos misiones importantes que son: proteger el producto adecuadamente para que se conserve durante un periodo de tiempo determinado y anunciarlo para promover su consumo. Los principales agentes de alteración de los alimentos (los cuales deberán ser eliminados o minimizados

por el uso de un envase seleccionado adecuadamente) durante su almacenamiento son:

- Fuerzas mecánicas (de impacto, vibración, compresión o abrasión).
- Condiciones ambientales, que pueden provocar transformaciones químicas y físicas (luz ultravioleta, humedad, oxígeno, fluctuaciones de temperatura)
- Contaminación (por microorganismos, insectos, etc.)
- Manipulación de los envases, violación de cierres y hurtos de contenido y adulteración. (*Fellows, 1994*)

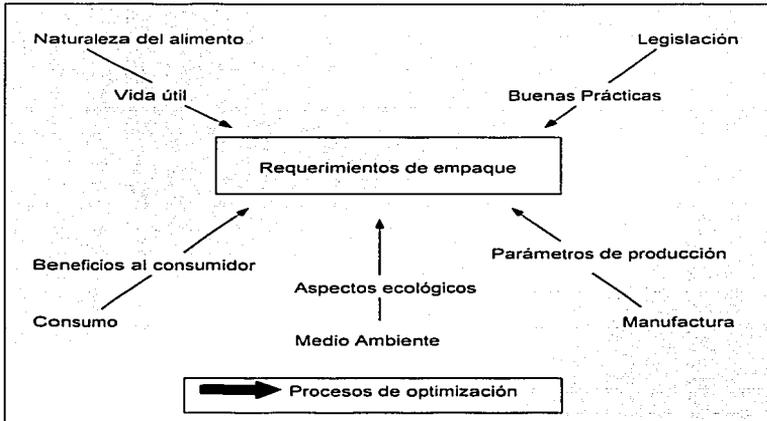
Por otra parte, esta claro que la distribución de aguas minerales "artificiales" (es decir, de origen no natural), fue posible a partir del desarrollo de envases y cierres y cuando éstos estuvieron disponibles a gran escala. El tapón de corcho fue desarrollado en la última década del siglo XIX, antes de esto, los sistemas de cierre representaban un grave problema. (*Paine, 1987*)

1.3.1 Función del envase.

La función esencial del envase es la protección del producto que contiene. Evidentemente se desea que el envase permita garantizar la vida útil del mismo durante el periodo de tiempo establecido según sus características. Sin embargo, si el envase no logra cumplir los requerimientos del producto, la vida útil del mismo se verá necesariamente reducida.

En la figura 1 se observan en su conjunto los factores que se deben considerar para el desarrollo de envases, considerando como se observa, en primer lugar las características del producto y la legislación; por otro lado se tienen los requerimientos del consumidor, aspectos ambientales y de manufactura del propio envase. Todo esto conforma un proceso ideal que involucra aspectos como los materiales de envase (incluidos en legislación), y la función del mismo (dentro de los requerimientos del consumidor).

Figura 1. Diagrama de requerimientos de envasado de productos alimenticios



(European Aluminium Foil Association, 1994)

En esencia, el material de envase debe proporcionar buenas propiedades de barrera para la protección de influencias externas como son el oxígeno, luz, vapor de agua, olores y sabores extraños, pero también deberá de preservar las características sensoriales naturales del producto envasado.

Un aspecto importante a considerar en los envases de alimentos es la legislación. El total de migración máximo aceptado de acuerdo a la norma EC regulation 90/123/EWG es de 10 mg/dm² para envases plásticos. El total de migración dentro del producto no debe exceder 60 mg/kg, lo anterior para materiales aprobados en aplicaciones directas sobre alimentos. (European Aluminium Foil Association, 1994)

1.3.2 Sistemas de llenado

El llenado consiste en la transferencia de líquido de una unidad de almacenamiento hacia un equipo de distribución para el envasado, cuidando de preservar las características de especificación del producto. (Bureau, 1996) Es necesario considerar la tendencia de las bebidas carbonatadas a espumar durante la operación de llenado, lo cual deberá prevenirse para evitar un llenado ineficiente así como un mal cerrado del envase. Lo anterior se logra evitando como en el caso del envasado de bebidas no carbonatadas la diferencia de presiones entre el envase y el equipo de transferencia o llenadora, evitando así el llenado a presión y por tanto el espumeo del producto. Un ejemplo de lo anterior está representado por los equipos de llenado que basan su funcionamiento en la igualación de la presión positiva al interior del envase para permitir el flujo del producto libremente por gravedad. Este equipo de llenado consta de un tazón giratorio que contiene el líquido a embotellar; válvulas de llenado que están acopladas a lo largo del perímetro del tazón; una sección en la que la botella o lata son cerradas; así como un sistema que sincroniza el paso apropiado de cada uno de los envases.

El tazón controla la presión del líquido contenido dentro de él, esta presión es mas baja que la del sistema que lo alimenta. De esta manera, el suministro continuo del producto está seguro, con la menor turbulencia (evitando pérdida de CO₂). El nivel dentro del tazón es mantenido por un flotador u otro dispositivo similar. En la primer fase del proceso el envase se acopla a la válvula de llenado para asegurar una hermeticidad en el acoplamiento de sus superficies. Esto es controlado por un sistema de presión neumático (un pistón) que sostiene el envase firmemente contra la válvula, no obstante la presión con el que el pistón sostiene la botella está calibrada para no dañarla. El envase gira con la válvula de llenado y un pistón abre válvulas acciona la válvula para permitir el paso de CO₂ de la parte superior del tazón (sobre el nivel del líquido) para presurizar el recipiente, es así como la presión del tanque entra en la

botella a través del vástago y del tubo de venteo. La presión en el recipiente es ahora igual que la presión en el tazón.

Cuando la contrapresión ha sido establecida (igualación de presiones), comienza la fase de llenado, donde el asiento de la válvula se levanta por efecto del resorte de la misma, permitiendo al producto fluir por gravedad en el recipiente presurizado hasta que el nivel del líquido asciende hasta el orificio del tubo de venteo. Durante esta fase es importante que el CO₂ sea removido, esto se logra a través del tubo de venteo.

Conforme el nivel del líquido sobrepasa el orificio del tubo de venteo, el líquido obstruye el flujo de CO₂, de la contrapresión haciéndolo regresar al tazón a través de este orificio. La presión del CO₂ en el espacio superior de la botella es ahora ligeramente mayor que la del tanque causando que el resorte cierre automáticamente la válvula y deteniendo así el flujo de líquido. (*Simms, 1982*)

1.3.3 Materiales de envase para bebidas carbonatadas

Actualmente las bebidas carbonatadas se envasan en 3 tipos principales de materiales: vidrio, aluminio y PET. El primer envase utilizado para este fin fue el envase de vidrio; sin embargo, el desarrollo a gran escala de la industria fue posible más por el tipo de cierre que por el material mismo, ya que el vidrio, inicialmente cumplía con las características requeridas. Ha sido el consumidor quien por su cambiante modo de vida ha solicitado envases cada vez más novedosos. A continuación se presentan los tres materiales de envase más utilizados en la actualidad.

1.3.3.1 Vidrio

Es uno de los materiales más antiguos utilizados por el hombre, cuando lo empleaba para la elaboración de puntas de flechas o lanzas, así como en cuchillos trabajados en obsidiana; el vidrio cuya naturaleza era esencialmente de origen volcánico en colores negro, verde o café.

El vidrio como material de envase tiene cierto prestigio como material de buena calidad y se asocia con el envasado de algunos productos delicados como son los vinos, alcohol y perfumes. Entre algunas de las características que le han atribuido dicho prestigio se pueden mencionar las siguientes: *(Bureau, 1996)*

- Es químicamente inerte y es conveniente desde este punto de vista para el almacenamiento de cualquier tipo de alimento.
- Forma una barrera completamente impermeable para los líquidos, vapor de agua, gases, sabores y olores.
- Su transparencia permite al consumidor observar el producto que va a comprar.
- Tiene un extenso rango de posibilidades para producir envases de diferentes colores y tonos para absorber las radiaciones UV y la luz.
- Es rígido y de alta resistencia mecánica, lo cual le permite resistir altas presiones internas.
- Su costo es bajo y su peso puede ser reducido considerablemente.

La resistencia mecánica del vidrio está dada más que por su composición química, por el proceso de manufactura. La resistencia teórica a la tensión del vidrio es mayor a 2×10^6 psi. La resistencia efectiva del vidrio está entre los 3000 y 8000 psi.

Cuando se habla de envases de vidrio, la resistencia mecánica se determina en base a 3 factores: la distribución del vidrio, la forma del envase y el grado de recocido, siendo los principales tipos de fractura por: impacto, choque térmico, o presión interna, todas ellas originadas por una descompensación en las fuerzas de tensión internas.

Es importante mencionar que un envase no solo tiende a quebrarse por un agente externo (golpes, choques térmicos, presión interna) sino por las tensiones internas que el envase posee:

Envase fracturado = Tensiones internas + Imperfecciones o Agente externo
(Rodríguez, 1997)

En el cuadro 2 se presentan algunos de los defectos más comunes en los envases de vidrio y que pueden ocasionar inconformidades tanto para el embotellador como para el consumidor final. De los defectos que se mencionan en el cuadro 2, los relacionados con la maquinabilidad del envase suelen ser los más importantes ya que éstos pueden ocasionar como en el caso de un mal acabado, que el sello entre el envase y la tapa no sea lo suficientemente hermético para proteger el producto de la contaminación y de variación en sus propiedades sensoriales. Por otro lado la apariencia suele ser importante básicamente sólo en los envases de vidrio transparentes. La reacción con el producto es un problema poco frecuente asociado con la composición del vidrio, sin embargo, la cuidadosa selección de los componentes del mismo reducen en gran medida este inconveniente.

Cuadro 2. Defectos en los envases de vidrio

| | Defectos en los envases |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maquinabilidad | Dimensiones erróneas, recocido deficiente, choque térmico cuando se envasa en caliente, distribución no uniforme del vidrio, corona inclinada, burbujas. |
| Apariencia | Incrustaciones (trozos de vidrio o piedras, puntos negros), pliegues, rebabas, arrugas. |
| Reacción con el producto | Puntos negros que reaccionan con el producto dando coloración y sabor. Corona mal formada, que no proteja al producto ante intercambio gaseoso. |

(Rodríguez, 1997)

1.3.3.2 Aluminio

El aluminio ha sido utilizado en una gran variedad de formas debido a su versatilidad. En el área de envases rígidos se fabrican recipientes de dos y tres piezas y como envases semirígidos se emplean en la producción de tubos colapsables y envases de café. Como el aluminio, o mejor dicho, la capa de óxido de aluminio que se forma en su superficie, no es completamente inerte, el recipiente debe ser recubierto interiormente con una laca sanitaria adecuada, compatible con el alimento a enlatar. El recubrimiento interior se debe realizar después del conformado del cuerpo, teniendo el cuidado de lograr una capa completa y uniforme. El uso de envases de aluminio se ha generalizado en la conservación de alimentos y ha invadido el campo de la hojalata en la distribución de cerveza, bebidas carbonatadas, y ahora incluso en el envasado de jugos y néctares que son productos que tradicionalmente se han envasado en envases de hojalata. *(Rodríguez 1997)*

Con el frío, el aluminio se hace más resistente, por lo que se usa a temperaturas criogénicas. El papel de aluminio de 0,018 cm de espesor, actualmente muy utilizado en usos domésticos, protege los alimentos y otros productos perecederos. Debido a su poco peso, a que se moldea fácilmente y a su compatibilidad con alimentos y bebidas, el aluminio se usa mucho en contenedores, envoltorios flexibles, y botellas y latas de fácil apertura. El reciclado de dichos recipientes es una medida de ahorro de energía cada vez más importante.

1.3.3.3 PET

Los esfuerzos por producir polímeros biorientados comenzaron en la década de los 50's con el polietileno de alta densidad y después con el polipropileno. Se desarrollaron caros y complicados equipos para la producción de envases termoplásticos biorientados. Desafortunadamente ninguno de estos polímeros tienen las propiedades en cuanto a orientación, que satisfagan los niveles de

elongación, resistencia al rasgado y permeabilidad al CO₂ que una bebida carbonatada requiere para ser envasada.

Las investigaciones regresaron entonces hacia el PET, que con su alto punto de fusión ofrecía mejores posibilidades para satisfacer los requerimientos, pero con un proceso mucho más complicado; modificaciones en las características de las preformas de las botellas y el diseño de las máquinas solucionaron finalmente el problema, y las botellas biorientadas de PET fueron por primera vez ofrecidas comercialmente en la década de los 70's.

La popularidad de este tipo envase para bebidas gaseosas se debe a su bajo peso (10 veces menor que su equivalente de vidrio), su resistencia a la ruptura por caídas, golpes, etc., y su transparencia equivalente a la del vidrio.

Por estas razones la botella de PET es quizás uno de los más exitosos envases plásticos que se hayan desarrollado, pero tiene dos desventajas que limitan su penetración en el total del mercado, que queda conformado además por envases de vidrio y aluminio.

1. Es más caro que las botellas de polietileno de alta densidad o PVC.
2. Es permeable al CO₂, aproximadamente 20 cc/100 in².mil.atm.24 hr.atm, que es alta para botellas con capacidades menores a 0.5 litros.

A pesar de lo anterior el PET como se muestra en el cuadro 3 es uno de los materiales que presentan menor permeación al CO₂ en comparación con otros de los materiales más utilizados comercialmente como lo son el polietileno y el polipropileno, en el caso del PVC, se observa a pesar de presentar menor permeabilidad que el PET, su uso está restringido para el contacto directo con alimentos, el mismo caso se presenta para los otros materiales que se presentan en la tabla, los cuales a pesar de contar con una excelente barrera al CO₂, no son compatibles con la bebida, o no presentan las demás características mecánicas que se requieren para el envasado de las bebidas gaseosas.

Cuadro 3. Comparación en las propiedades de barrera del PET y otros materiales plásticos

| Material | Transmisión | | |
|----------|-------------|-----------------|---------------|
| | Oxígeno | CO ₂ | Vapor de agua |
| PET | 2.6 | 31 | 1.7 |
| PETG | 40 | 200 | 6 |
| PVC | 12 | 24 | 2 |
| PVDC | 0.016 | 0.47 | 0.16 |
| PEAD | 213 | 900 | 0.5 |
| PEBD | 600 | 300 | 2 |
| PP | 360 | 950 | 0.8 |
| PA | 2.6 | 4.7 | --- |
| PAN | 1.24 | 1.7 | 7.8 |
| EVAL | --- | 0.13 | 6 |

cm³/0.001 pulg² 24 h a 1 atm/ 23°C 0 % h.r.

(Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 1997)

Por otro lado, las botellas de PET son en su mayoría no retornables lo cual representa un daño a el medio ambiente debido al tiempo de descomposición del material y al elevado costo de su reciclado. (Jenckins, 1991)

El método más simple para la obtención del PET, es la reacción directa de esterificación del ácido tereftálico y el etilenglicol, formando bis-β-hidroxiethyl tereftalato, "monómero" que se somete a una policondensación para obtener un polímero de cadena larga.

Para la fabricación de los diferentes grados de PET, se emplea la misma tecnología. Una vez que se tiene la longitud de la cadena requerida, el PET fundido se solidifica. Esto se realiza a través de una extrusora con dado de orificios múltiples, para obtener un "espagueti" que se enfría con agua. En forma semisólida es cortado en un pelletizador y se obtiene el granulado.

En cuanto al PET grado botella, los pellets solidificados tienen tres factores que limitan su uso en la industria y como consecuencia se requiere de un proceso final en la fase de fabricación. Dichos factores son:

- Amorfo
- Posee alto contenido de acetaldehído
- Tiene bajo peso molecular

El proceso final recibe el nombre de polimerización sólida, consiste en calentar el granulado en una atmósfera inerte, con lo que se mejoran simultáneamente las tres propiedades, proporcionando mayor facilidad y eficiencia en el secado, moldeado de la preforma, producción y calidad de la botella. (*Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 1997*)

1.3.3.3.1 Especificaciones de la botella

Los requerimientos de la botella derivan del producto que contendrá, como ejemplo, las bebidas de Cola contiene aproximadamente 4 volúmenes de CO₂ por cada volumen de líquido. La presión en el espacio frontal por encima del líquido puede exceder 5 atmósferas a altas temperaturas, por ejemplo, en el interior de un automóvil que esté a pleno sol. El requisito principal, es entonces, el de soportar esta presión: a) sin pérdida de gas; b) sin que se rompa o estrelle el envase; y c) sin que se deforme.

Un método de prueba común para la evaluación del diseño y el material de envase es que después de 120 días a 23°C:

- La pérdida de CO₂ debe ser menor al 15%.
- No debe perderse el sabor
- No debe dilatarse el envase
- No debe bajar el nivel del líquido (se permiten límites pequeños)
- La botella llena debe aguantar una caída desde una altura de 2 metros.

1.3.3.3.2 Características de fabricación de la botella

Estas botellas se elaboran mediante el soplado de preformas moldeadas por inyección, después de un recalentamiento. Durante este procedimiento, la velocidad de inyección se limita mediante el control de la presión de inyección

para evitar la formación de cristales esferulíticos en el polímero debido a la cristalización inducida por esfuerzos. Estos cristales provocarían turbidez.

Para elaborar un artículo satisfactorio a partir del PET o de cualquier polímero cristizable, se debe lograr la estructura cristalina. Esta es la función del método de soplado / estirado para fabricar botellas de PET. Pueden utilizarse los mismos fundamentos en, por ejemplo, cloruro de polivinilo o el polipropileno. El polietileno tereftalato es un ejemplo selecto de un polímero cuya cristalinidad puede controlarse por el método de obtención: algunos otros polímeros cristalinos como el acetal y el nylon cristalizan espontáneamente y por eso no pueden manufacturarse de esta manera. (Jones, 1999)

1.3.4 Cierres.

El desarrollo del envase comenzó con el origen del hombre; las tapas y tapones han sido del mismo interés que los contenedores. El hombre hizo envases de materiales que tuvo a su alcance, tales como cuero y piel, hojas de árboles, plantas, barro, partes de animales, y otros materiales naturales. Mas tarde aparecieron los recipientes hechos de alfarería, madera, vidrio y metal. Con la invención de dichos recipientes, viene como consecuencia natural el desarrollo de las tapas o cierres. Lo anterior debido a que ciertamente la función primaria de un envase es contener, sin embargo la necesidad de transportar y proteger del medio ambiente al producto contenido condujo al desarrollo de elementos que obstruyeran la salida del producto del envase o la entrada de elementos extraños al mismo, con la posibilidad de abrir y cerrar el envase el número de veces que sea necesario. (Instituto Mexicano del Envase y Embalaje, No. 1, 2001)

El cierre de un envase es uno de sus elementos mas importantes. Tan sólo con este elemento resulta un envase completo. Sus misiones son múltiples, tienen que:

- Evitar un derrame incontrolado de la mercancía.
- Encargarse de la función de apertura y muchas veces también de nuevo cierre.
- Garantizar una protección frente a influencias de transporte, como entrada de humedad, cambio de temperaturas, etc.
- Estar también en condiciones de cumplir las exigencias impuestas por presión, calor, movimiento, choque y golpes sobre el envase.

Los cierres pueden dividirse en cierres normalizados y cierres garantizados. Un cierre normalizado puede abrirse y cerrarse de nuevo un número ilimitado de veces. Se cuentan entre ellos cierres de presión, tracción y desplazamiento, como tapones, caperuzas y cierres roscados. Los cierres de garantía no pueden cerrarse de nuevo tras la primera apertura, de modo que la operación queda inadvertida. En la mayor parte de los casos tampoco pueden cerrarse de nuevo conservando toda su eficacia. Se cuenta en este grupo a todos los cierres pegados, sellados y soldados, así como los tapones corona y tapas enrolladas. (*Kühne, 1976*)

Tipos de cierres

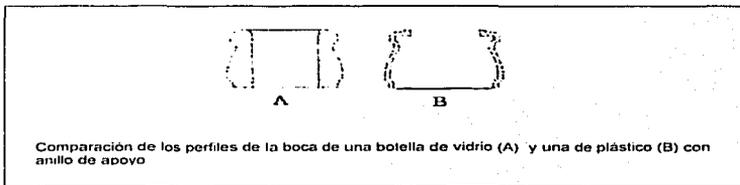
A. Cierres para botellas y cuerpos huecos

Este tipo de cierres se puede dividir en tres categorías:

- Cierres normalizado y estándar. En la industria de la alimentación se utilizan desde hace muchos años los cierres rebordeados y a presión para botellas de vidrio y latas metálicas. Su aplicación mecánica ha alcanzado un elevado nivel técnico y es aceptado también por el consumidor, por costumbre. Se consideran cierres con garantía de origen, incluso cuando exista la posibilidad de colocar de nuevo el tapón mediante un simple dispositivo presor. En la aplicación de este tipo de cierres, las máquinas aplicadoras ejercen una presión vertical sobre la botella al colocar el

tapón. Las botellas de vidrio resisten esta presión sin dificultades; pero para que la pudieran soportar las botellas de plástico precisarían espesores de pared mucho mayores, lo que no corresponde a la realidad de la producción. Por eso hay que modificar el perfil del cuello de la botella, disponiendo anillos de apoyo por debajo de la abertura superior como se observa en la figura 2 (Hanlon, 1975)

Figura 2. Perfiles de la boca de botellas de vidrio y plástico



(Kühne, 1976)

La sección del material en una botella B de este tipo varía notablemente en la embocadura respecto a la de una botella de vidrio A. Puede verse que el espesor de todo el perfil es uniforme. La técnica de aplicación mecánica del cierre es igual en las botellas de plástico que en las de vidrio.

- Cierres soldados aplicables sólo a botellas y tubos de plástico. Son todos aquellos precintos de garantía, que permiten una sola operación de cierre. Proceden del cuello de la botella, prolongado en forma de manguera, que se aplasta o suelda. El proceso de aplastado se realiza sobre todo en las instalaciones de soplado, envasado y cierre, donde se aprovecha el calor permanente todavía en el material tras el moldeo.
- Cierres enrollados y caperuzas para recipientes de cuello ancho. El cierre consiste en una tapa de aluminio provista de borde, sellada sobre una

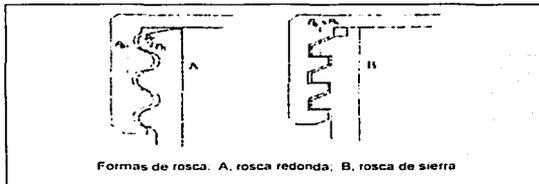
superficie anular dirigida hacia dentro de la boca del envase. (Kühne, 1976)

B. Cierres Roscados

El número de variantes de cierres roscados para botellas, bidones, tubos y recipientes de cuello ancho es inconmensurable. Se distinguen por la forma de la rosca, el diámetro de la misma, tipo de junta y forma exterior. Las botellas de vidrio para la industria de bebidas tienen formas y tamaños de rosca determinados en la hoja de especificación DIN 5093. También los cierres para tubos están descritos en la hoja de especificación DIN 5065. para recipientes de plástico no se dispone todavía de normas. En consecuencia, toda la industria tiene mano libre para la elección de su tipo de rosca.

Las formas corrientes son la rosca redonda y la de sierra (figura 3). Los vectores marcados sobre el dibujo permiten ver en la rosca redonda la fuerza normal P_n , que actúa siempre en perpendicular a la línea de contacto de los contornos de la rosca, se descompone en una fuerza axial P_a y una fuerza radial P_r .

Figura 3. Formas de rosca



(Kühne, 1976)

La fuerza axial P_a determina la presión de la tapa sobre la superficie de junta de la boquilla en a. La fuerza parcial P_r es por lo general indeseada, ya que intenta

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ensanchar la tapa. Será tanto mayor cuanto más inclinación tengan los flancos de la rosca o mayor sea el ángulo entre P_a y P_r .

En una rosca de sierra con flancos rectangulares no se origina ninguna fuerza transversal P_r ; en este caso $P_a = P_n$, es decir, toda la presión superficial de la rosca se aprovecha como fuerza de junta en a .

La cantidad de pasos no es decisiva por necesidad para la fuerza de junta, ya que no puede esperarse que todos los pasos actúen con toda la superficie. Sin embargo, para las piezas de plástico las roscas no deben ser menores que un paso completo con un cierto exceso.

Los cierres roscados con garantía de origen pueden concebirse en forma semejante al cierre "pliferproof", de modo que al proceder al roscado se haga pasar por un anillo tras un reborde, de donde no puede retroceder. Este anillo queda en el cuello del a botella al efectuar la primera apertura. La zona de rotura consiste en una línea de perforación alrededor de todo el perímetro. Un estudio más detallado de estos sistemas se conocen como Sistemas de Seguridad.

Capítulo 2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la metodología:

A continuación se describe la metodología que se utilizó para el cumplimiento del objetivo general, la cual se esquematiza en el cuadro metodológico (figura 4).

En primer lugar, es importante mencionar que el presente es un trabajo de investigación bibliográfica, la cual se obtuvo de diversas fuentes incluyendo manuales y especificaciones técnicas de algunos fabricantes de tapas y refrescos; sin embargo, se trató la información de manera que no se particularizara en algún aspecto específico de dichos fabricantes. Se trató además en todos los casos de contar con la información más actualizada.

Para dar cumplimiento al objetivo general se dividió éste en dos objetivos particulares y con los cuales mediante la información que se incluye en cada uno de ellos se pretende conocer el proceso de elaboración – envasado y como parte central el proceso de cierre y las características de los materiales para tal fin en las bebidas carbonatadas. Lo anterior en conjunto nos sirven de base para visualizar las perspectivas tecnológicas en cuanto a los materiales de cierre y con esto dar cumplimiento al objetivo general.

Para el cumplimiento del objetivo 1. y como se muestra en el cuadro metodológico (figura 4), se realizó en primer lugar, la descripción del proceso de elaboración de las bebidas carbonatadas, en este punto se consideran básicamente aspectos relacionados con los ingredientes de elaboración como son el agua, el dióxido de carbono, el jarabe y el azúcar. Considerando que la formulación de los jarabes varían de acuerdo al tipo de producto y al fabricante, sólo se mencionan algunas de las consideraciones básicas para la elaboración de jarabes. Como paso siguiente se hizo una revisión del sistema de envasado de las bebidas carbonatadas, ya que éste es un factor crítico que determina la

calidad de la bebida terminada. Posteriormente se revisaron las funciones y la importancia de los envases, así como los tipos de materiales que se utilizan en el envasado de las bebidas carbonatadas, reconociendo de esta manera la importancia del PET y justificar de alguna manera el hecho de analizar los materiales de cierre para este tipo de envases como objetivo del presente trabajo. Se mencionan los materiales más utilizados como son el vidrio, el aluminio y el PET, lo cual nos permite visualizar la importancia y trascendencia de cada uno y sobre todo comprender el auge que en los últimos años ha tenido el PET.

Para concluir el capítulo 1, y entrando ya al tema de los cierres, se incluye una descripción generalizada de los sistemas de cierre, en este punto se mencionan algunas de las funciones más importantes y los tipos de cierres que existen, con lo cual se pretende visualizar la importancia del cierre como elemento complementario del envase para la conservación de las características sensoriales del producto que contiene. Con este objetivo se identificaron algunos factores que deben de controlarse en el envasado de las bebidas carbonatadas y que son importantes para la conservación de sus características. Además algunos de los ellos deberán conocerse (como el volumen de carbonatación, fecha de consumo preferente, altura de llenado, etc..) para la correcta selección de un material de cierre.

Para abordar el objetivo particular 2 (que se relaciona como se muestra en la figura 4 con el objetivo 1) se analizan en primer lugar, las funciones de los cierres. Se clasifican y se describen los diferentes tipos de tapas. Lo anterior sirve para tener una visualización generalizada sobre la funcionalidad de cada una ellas, sus diferencias y características. De los tipos de tapas descritas se encuentran las tapas de hojalata, las tapas de aluminio y por último las tapas plásticas entre los cuales se encuentran las taparrosas que son finalmente el objeto del presente estudio.

Posterior a la descripción general de las tapas plásticas y taparrosas, se incluye una descripción del proceso de fabricación para esta última que es el más ampliamente utilizado: el moldeo por compresión. Se describe el proceso de fabricación para advertir sobre los factores que se deben controlar en este proceso y que podrían ser determinantes en la calidad de la tapa, lo cual pudiese provocar un problema en la aplicación o en la funcionalidad de la misma.

A continuación se presenta una descripción detallada de las partes que conforman a la tapa, esto nos permite identificar las partes críticas que la conforman y que otorgan la funcionalidad a la misma.

Paralelamente se realiza una descripción de los liners, ya que como se podrá observar en la descripción de la tapa, son una parte fundamental para lograr el sello del envase con la tapa. Los liners son en sí, el elemento sellante entre la tapa y el envase, de ahí su importancia y su inclusión dentro del presente trabajo. Se describen para éstos algunas de sus funciones y materiales de elaboración, así como el proceso de fabricación más utilizado; por último se incluyen los factores que se deben considerar en la selección de un tipo de material para liner.

Una vez que conocemos las tapas y liners, se propone una descripción a los sistemas más comunes de manejo y aplicación de las tapas, los cuales son factores importantes ya que de esto depende que los materiales seleccionados para las tapas conserven sus características mecánicas y de barrera por las cuales fueron seleccionados.

Se describen a continuación algunos de los materiales utilizados actualmente en la elaboración de tapas, esto se hace para tener un punto de comparación entre la situación actual y posibles desarrollos de nuevos materiales para tapas en base los factores que dichos materiales no satisfagan, como puede ser el calibre de la tapa (peso de la tapa, se busca disminuir la cantidad de material), para disminuir efectos negativos al medio ambiente; o puede ser que se desarrollen nuevos polímeros con mejores propiedades mecánicas o de barrera que los actuales.

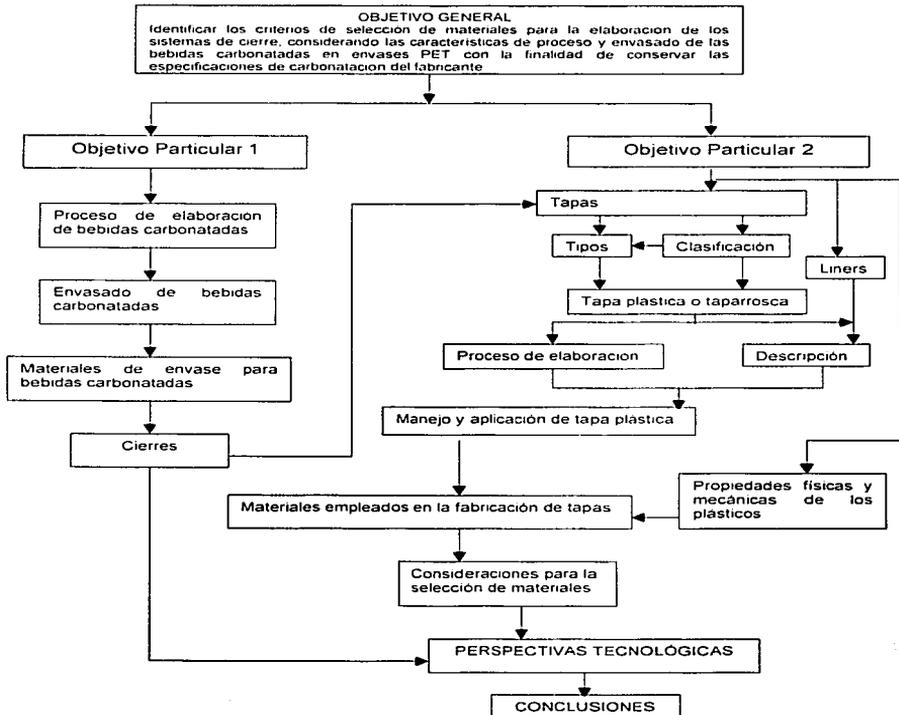
Para la selección de un material, se requieren conocer algunas de sus características y los métodos de prueba que se utilizan. Por lo anterior, se describen de forma generalizada las propiedades mecánicas y fallas en los polímeros, lo cual es importante para comprender el tipo de prueba que se deberá realizar a un plástico en su elección, se incluyen listados con los test de prueba normalizados por la ASTM. No se incluye la descripción detallada de cada uno de ellos, sólo se referencia el documento de la ASTM en el cual se pueden encontrar.

En base a toda la información recopilada en las secciones anteriores se describen las consideraciones, primero para la selección del tipo de cierre, y luego, para la elección de materiales plásticos para la fabricación de tapas.

Por último se describen las perspectivas tecnológicas en cuanto a tipos de materiales para la elaboración de tapas y en función principalmente al mejoramiento de las propiedades de barrera del mismo.

Como parte final en las conclusiones se mencionan los criterios que se seleccionaron como más importantes para la elección de materiales de tapas.

Figura 4. Cuadro metodológico:



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3. Situación tecnológica

3.1 Sistemas de Cierre

La parte más pequeña de un envase y frecuentemente la más crítica es el cierre; la seguridad del ensamblado y la integridad del contenido dependen en gran medida de la tapa o del tipo de cierre usado para completar el envase. El cierre de un envase deberá de mantener su integridad durante el proceso de ensamblado, almacenamiento, manejo y embarque, pero de igual forma deberá ser fácil de abrir y de volverse a cerrar si es lo que el consumidor requiere.

Adicional a sus cualidades funcionales, un cierre puede en ocasiones, realzar la apariencia del envase. Un grabado metalizado, un sello o una tapa decorativa proveen de un toque extra que marca la diferencia para la elección del consumidor en el lugar de venta. Un mensaje o una marca de identificación pueden ser incluidos en el diseño del cierre. Un cierre es el toque final de un envase, y debe dársele especial atención si se desea que el producto ocupe un lugar prominente en el mercado. *(Hanlon, 1975)*

3.1.1 Tapas

Actualmente hay una gran variedad de tapas, tapones, cubiertas, cremalleras, cintas, cordones y otras formas de tapado disponibles. Nuevas formas o modificaciones a las existentes están siendo desarrolladas continuamente y traídas al mercado. La tapa es reconocida como un elemento importante de la mayoría de los envasados porque es un medio por el cual los consumidores interactuamos con el envase. Un tapado efectivo puede mejorar en gran medida la utilidad y funcionalidad de casi cualquier envase. Un cierre ineficiente, que es muy fácil o difícil de abrir, rápidamente genera quejas y reclamaciones de los consumidores.

3 1.2 Funciones de la tapa o cierre.

A continuación se describen las funciones mas importantes del cierre o tapado:

- **Contención.** La retención del producto es la función básica del cierre o tapa. Mantener el envase cerrado de tal manera que el producto no se fugue o derrame. Conservar el peso, volumen y/o cantidad comprados por el consumidor: cumpliendo así con las regulaciones del comercio y salud. Es muy importante la contención en la transportación de los materiales peligrosos, por el riesgo que presentan para el personal que está en contacto directo con los recipientes o envases de los mismos.
- **Conservación de la calidad.** La preservación de la calidad del producto puede ser tan simple como prevenir los cambios de presión en un recipiente, o tan complicada como evitar la transmisión de oxígeno o vapor de agua dentro del envase cuando un producto es sensible al oxígeno o a la humedad.
Mantener la presión interna es una función común en las tapas como en el caso de la las bebidas carbonatadas cuyos envases resisten presiones tan altas como 80 psi durante varias semanas, mientras los productos son transportados, almacenados y vendidos.
De modo similar muchos alimentos son producidos y vendidos con vacío interno, permitiendo mantener la calidad del producto, evitando la presencia de oxígeno que podría promover el desarrollo de ciertos microorganismos o la oxidación de las grasas contenidas en los productos.
- **Fácil remoción.** Las tapas deben mantener el envase cerrado herméticamente, pero deberá abrirse fácilmente. Estos requerimientos pueden parecerse opuestos pero muchos sistemas de tapado han sido

desarrollados para cubrirlos, de hecho, provisto para estos requerimientos diametralmente opuestos.

- **Dosificación exacta.** La distribución fácil y precisa es una función importante del tamaño de la corona del envase y de la tapa. Todos los cierres son proyectados para ser removidos eventualmente para permitir el acceso al contenido del envase. Ciertos diseños, formas especificadas, ubicaciones y tamaños, facilitan la dosificación del producto envasado.
- **Mantener el producto protegido y seguro.** La seguridad del contenido y la prevención de adulteración del mismo es una función importante de las tapas utilizadas en muchos productos. Actualmente es común contar con cierres que no pueden ser removidos por niños. En otros sistemas, el cierre primario es aumentado con implantaciones adicionales tales como película encogible para cubrir la unión entre el envase y la tapa. Muchos envases de alimentos incluyen sellos internos que son planteados para mantener la calidad del producto, pero también ofrecen evidencia del tapado inicial y muestran si el envase ha sido abierto.
- **Reaplicabilidad.** El resellado del envase es una función considerada en muchos cierres. El valor de muchos envases de alimentos es mejorado por la capacidad de poder cerrar el contenedor para preservar la porción no utilizada del alimento.
- **Comunicación.** La comunicación es una importante función adicional de algunos tipos de cierres. En el pasado, por ejemplo, las tapas eran fabricadas sin decoración, simplemente pintadas en blanco u otro color. Actualmente, no obstante, frecuentemente llevan información para ayudar al consumidor a determinar si el envase ha sido abierto. También se apoya al comprador al momento de hacer una selección.

- **Efecto negativo mínimo al medio ambiente.** La ecología es algo que concierne cada vez a más personas. Por lo tanto, es función básica de la tapa impactar en el medio ambiente tan poco como sea posible. La selección cuidadosa de los materiales y procesos puede disminuir muchos de los efectos que deterioran el entorno ecológico. Una forma básica de ser ambientalmente amigables, es disminuir la cantidad de material utilizado en una tapa. Otra es utilizar material que sea reciclable para otras tapas u otros productos. (Cedillo, 1998)

3.1.3 Clasificación de tapas:

Una primera forma de clasificar las tapas es por el material que las compone; así se tiene que existen tapas de metal, tapas de materiales plásticos y de origen natural. Esta primera clasificación comprende distintos tipos de tapas en cuanto a funcionalidad, aún y cuando se trate de un mismo material. Otras formas de clasificar las tapas se describen con más detalle, y en las cuales se consideran otros aspectos comunes a cada tipo ellas como lo son el tipo de ensamble al envase, la función y su hermeticidad.

a. Por su ensamble al envase:

- “ A presión: se insertan en la corona del envase, permiten el tapado y retapado del mismo.
- “ Roscadas: giran sobre la cuerda de la corona del envase, permiten tapado y retapado.

b. Por su función:

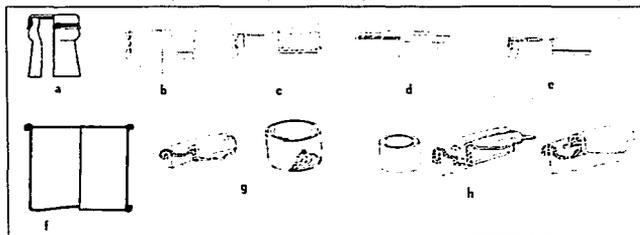
- ▲ Inviolables. Pueden ser tapas a presión o roscadas, su diseño no permite apertura si no ha sido desprendido el dispositivo de seguridad.

- ▲ A prueba de niños. También llamadas child Proof, son tapas plásticas que por razones de seguridad cuentan con un dispositivo que tiene cierto grado de dificultad en su apertura.
- ▲ Irrellenables. Tapones multicomponentes, que impiden que el envase sea llenado después de consumirlo; gracias a un conjunto de elementos que ensamblados, actúan como una válvula check, que deja salir el líquido, pero no permite la entrada. Generalmente se usan para vinos y licores, con el fin de evitar adulteraciones del envase.
- ▲ Vertederas. Que facilitan el vertido del contenido líquido.
- ▲ Dispensadoras. Permiten el acceso al contenido sin la necesidad de quitarlas y ponerlas, ya que la misma tapa tiene un elemento móvil que lo regula. (Vidales, 1997)

3.1.4 Tapas de hojalata

- *Tapa corona o plastitapa* (a): utilizada generalmente en la industria refresquera y cervecera. Ver figura 5
- *Tapa roscada* (b): se fabrica con rosca, reutilizable, y que generalmente se utiliza con un liner interior, como elemento de sello. Ver figura 5

Figura 5. Tapas de hojalata



(Rodríguez, 1997)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

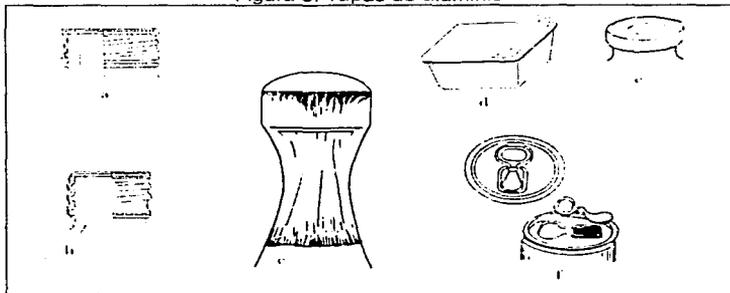
- " *Tapa tipo P.T.(c)*: tapa hermética colocada a presión y quitado por torsión. Muy utilizada en los alimentos infantiles. El liner es colocado incluso en los laterales interiores de la misma, logrando de esta forma un sello lateral así como en la parte superior de la boca del envase. Cuenta con un botón de seguridad, que por efecto del vacío queda sumido y en el momento de abrir el envase el botón se levanta, siendo esta una particularidad que permite ver si no ha sido violado el envase.
- " *Tapas para vaso (d)*: tapa hermética que va unida al cuerpo del envase por medio de una arandela de hule que se coloca en el interior de la tapa formando un sello lateral. Tiene la característica de que se destruye al ser retirada, por lo que no es reutilizable.
- " *Tapa unitap (e)*: tapa con el exterior liso o estirado que lleva un borde interior, el cual llega hasta el tope y en la que va conformada una cuerda estándar para engranar con los hilos de la corona del envase.
- " *Tapa para envase sanitario de dos piezas (f)*: tapa que posee un compuesto sellador para realizar un cierre hermético no reutilizable, adaptable al cuerpo del envase mediante una máquina y cuya apertura requiere de un mecanismo o herramienta.
- " *Tapa de fricción simple (g)*: tapa circular troquelada que tiene la pestaña rebordeada hacia el interior y que obtiene el cierre mediante el frotamiento de la tapa con la boca del envase.
- " *Tapa de fricción múltiple (h)*: tapa que se ajusta con frotamiento sobre dos surcos concéntricos formados en la boquilla del envase. Es reutilizable.

3.1.5 Tapas de aluminio

- 2) Tapas estándar (a). Tapa que se fabrica con rosca, generalmente con liner interior suficientemente ajustado o pegado al fondo de la tapa (Figura 6).

- 3) Tapa inviolable (b) (Pilfer Prof). Se fabrica en forma de casquillo con un anillo de seguridad en la parte inferior, provisto generalmente de un liner. Se cierra con el uso de un equipo engargolador que forma la cuerda en el casquillo sobre el envase, a la vez que se ajusta el anillo de seguridad, lo que da una prueba de la inviolabilidad de éste. Cuando el envase se abre el anillo se desprende.

Figura 6. Tapas de aluminio



(Rodríguez, 1997)

- 4) Tapa de papel aluminio (c). Cubierta preformada que se ajusta a la corona por medio de una máquina y se destruye al abrirse.
- 5) Tapa pelable de aluminio (d). Cubierta adherible por medio de un material termosellante a la boca del envase.
- 6) Cápsulas o retapas de aluminio (e). Es un aditamento adecuado para sujetar el tapón entre ésta y el envase, teniendo el centro desprendible o rasgable.
- 7) Tapa de fácil apertura (f). Tapa que posee un compuesto sellador para realizar un cierre hermético y que no requiere ninguna herramienta para su apertura, ya que posee un anillo u otro aditamento que mediante

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

presión abre la tapa. No es reutilizable. Se fabrica en aluminio, aunque también de hojalata. Usado en la industria cervécer, refrescos y jugos. (Cecillo, 1998)

3.1.6 Tapas de plástico.

Los cierres de plástico se fabrican básicamente de polipropileno, polietileno alta y baja densidad, y poliestireno. En este tipo de cierres se pueden realizar formas complejas y sofisticadas que serían prácticamente imposibles de fabricar en un material metálico.

La selección del material plástico a utilizarse puede resultar básico en la funcionalidad de la tapa, como en el caso de las tapas de rosca que están sometidas a una tensión constante mientras está cerrado el envase.

Lo anterior también es aplicable a tapas que requieren de una apertura y cierre continuo durante muchas ocasiones.

Las tapas para envases como botellas, tarros, frascos, independientemente del material con el que estén elaborados, en términos generales son de presión o de rosca, encontrando una gran cantidad de tamaños, formas, estilos y formas de operación.

Las tapas de plástico pueden dividirse a su vez en:

1) Tapas de presión:

- Tapas con retención
- Tapones con lateral en forma de oliva
- Tapones de junta mediante laminillas
- Cierres embutidos
- Tapones de cierre con distanciadores
- Tapas de varias piezas
- Tapón de sidra

2) Tapas de rosca

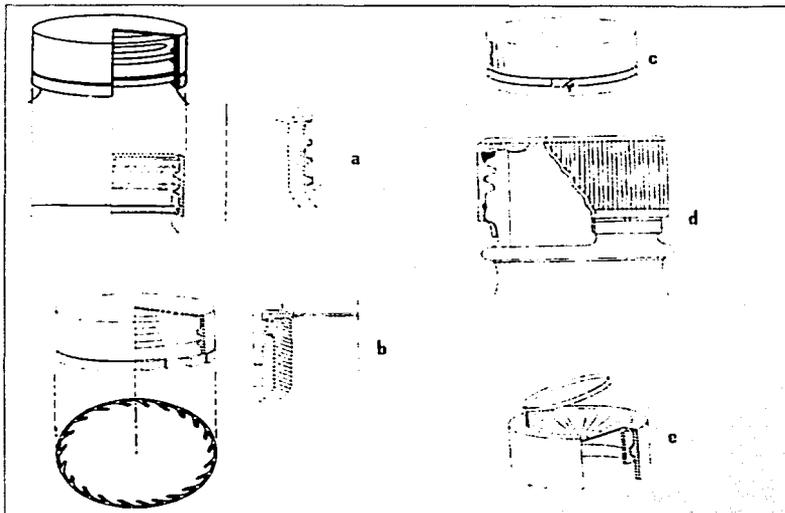
Las tapas de plástico con rosca tienen un inconveniente contra las tapas metálicas, y que es la pérdida de torque o fuerza de cerrado con el paso del tiempo, lo cual resulta comprensible dada la naturaleza del plástico que tiende a ceder, en promedio se estima que una tapa pierde hasta un 35 % del torque original pasados dos o tres días, por lo que es conveniente que el torque original se determine considerando lo anterior, es decir, aplicar un torque inicial tal, que después de la pérdida de torque quede con la fuerza de cierre que requiere el producto. Por ejemplo un cierre de 60 lb. de torque es una fuerza que dificulta la apertura del envase, mientras que para un torque de 10 lb. el envase está prácticamente abierto, si el torque original fuera de 40 lb., con la pérdida quedaría un torque de aproximadamente 25 lb., lo cual puede significar una tapa floja, y por lo tanto con el riesgo de que no cumpla con las funciones de protección al producto. (Rodríguez, 1997)

3) Tapas inviolables de plástico

Las tapas inviolables de plástico (figura 7), son generalmente fabricadas en polipropileno y polietileno baja y alta densidad. Existen básicamente tres tipos de sistemas, en los primeros basta con abrir la tapa para eliminar el sistema de inviolabilidad, estos a su vez se dividen en dos sistemas muy utilizados, el de anclaje (figura 7 a) y los de engrane (figura 7 b).

Los segundos son tapas a las cuales se debe quitar primeramente el anillo de seguridad y sólo entonces puede quitarse la tapa (c), también se ha desarrollado un tipo de tapa donde el cinturón de seguridad no ancla en el anillo de transferencia sino que este es encogido por temperatura (d). Por último el tercer tipo que son tapas con membrana del mismo material plástico, que debe ser desprendida y eliminada de la tapa para poder consumir el producto (e)

Figura 7. Tapas inviolables de plástico



(Cedillo, 1998)

3.1.6.1 Procesos de fabricación de tapas plásticas

El proceso para la elaboración de tapas que actualmente es el mas utilizado es *el moldeo por compresión*, en el cual el polvo de plástico se coloca entre dos moldes, macho y hembra, comprimidos por presión hidráulica. Los moldes se calientan y el plástico se funde, tomando la forma de la cavidad que entre ambos forman. Luego se enfrían los moldes, se abren y se expulsa el recipiente. (Brenan, 1980)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los fundamentos del moldeo por compresión pueden describirse de la siguiente forma:

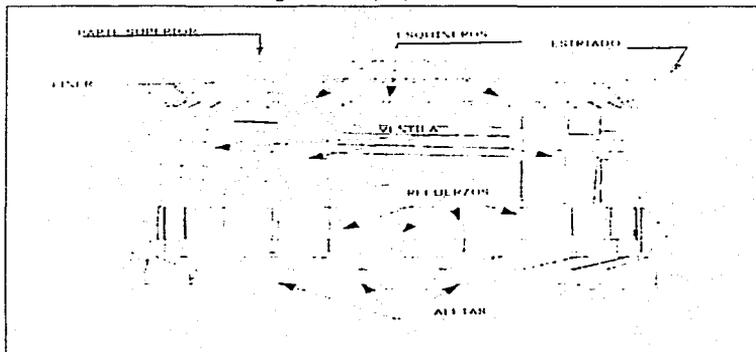
1. El molde se sujeta entre las platinas calientes de una prensa hidráulica.
2. Se coloca una cantidad preparada de compuesto de moldeo en el molde; y el molde se coloca en la prensa.
3. La prensa cierra con presión suficiente para evitar o minimizar la fuga de material en la división del molde.
4. El compuesto se reblandece y fluye para amoldarse al recipiente, entonces se produce el curado químico conforme la temperatura inerte del molde se vuelve bastante alta.
5. Si es necesario, se enfría, aunque para la gran mayoría de los termoestables, no es necesario.
6. La prensa se abre y se saca la pieza moldeada.

El ciclo de moldeo incluye, a menudo, una etapa de "respiro" o descomposición; la presión se alivia momentáneamente para liberar las sustancias volátiles (aire y productos gaseosos atrapados) y, luego, se incrementa de nuevo para "expulsar" los gases. (Jones, 1999)

3.1.6.2 Descripción de la tapa plástica

- 1) **Parte superior:** es donde se coloca el arte con los datos del cliente, tipo de producto y logotipos (figura 8).
- 2) **Estriado:** el estriado consiste en 120 serraciones (figura 8) que están alrededor de toda la periferia de la tapa con dos finalidades específicas: primero, dar al cono de cierre un punto de apoyo para poder transmitir la fuerza del cabezal para aplicar la tapa y segundo, que el cliente tenga mayor facilidad para poder retirar la tapa.

Figura 8. Tapa plástica



(H.C. Industries. 1996)

- 3) **Liner:** el liner es el sellante que evita la fuga de producto una vez aplicada correctamente la tapa, el liner es del tipo moldeado con la gran ventaja de contar con un sello lateral y un sello superior. Se requiere una mayor área de sello lateral en contenedores de vidrio, que en envases de PET, esto debido a que el envase de vidrio no puede deformarse, por tanto toda la presión se concentra en la tapa plástica, así es que requiere de mayor área de sellado lateral.
- 4) **Esquineros:** (figura 8) los esquineros en el interior de la tapa sirven como refuerzos para dar mayor resistencia a la tapa, cuando se encuentran las roscas de la tapa y la botella ejerciendo presión y el liner hace la función de sellado en la boca de la botella.
- 5) **Ventilas:** (figura 8) las ventilas sirven para aliviar la presión existente dentro del contenedor con producto carbonatado. Se requiere un número mayor de

ventilas para envases de PET, que las que requieren envases de vidrio, esto debido a que la presión existente en un envase de PET se distribuye en todo el envase y tapa, deforma en su totalidad las paredes del envase, y en envase vidrio la presión solo afecta la tapa plástica.

- 6) **Refuerzos:** (figura 8) son pequeños puentes de material que dividen el cuerpo de la tapa plástica de la banda de garantía, estos puentes son cortados a una profundidad específica en el proceso de scoring para dar el corte requerido, ya sea de 360° (envases no retornables) o de 240° (envases retornables)
- 7) **Aletas:** (figura 8) son las herramientas con las que cuenta la tapa para sostener la banda de garantía en la parte inferior del acabado de la botella, las aletas se agarran de manera diagonal obligando a la banda de garantía a desprenderse, esto solo, cuando se remueve el tapón de la botella.

(Alcoa Closures International, 1994)

3.2 Liners

El liner se requiere generalmente para compensar las tolerancias o pérdidas de precisión entre las superficies de contacto de la tapa y el envase. El liner provee la protección necesaria y el grado de ajuste requerido para sellar el envase. Por lo que la función básica del liner es lograr el sello, sin embargo, esto implica otras funciones no menos primarias que son:

- Prevenir las pérdidas de producto por fugas
- Prevenir la pérdida de vapor o de gas del producto
- Prevenir que el producto pierda o gane humedad
- Prevenir la rancidez de los alimentos causada por oxidación
- Preservar las condiciones de esterilidad de un empaque
- Desahogar la presión excesiva de gas o vapor de agua
- Mantener parcialmente el vacío

- Prevenir pérdida de sabor o aroma
- Hacer el empaque evidente a violaciones
- Imprimir instrucciones, promociones, etc.

Principalmente la función del liner es prevenir fugas de producto, especialmente si es líquido, ya que las fugas no sólo traen como consecuencia una pérdida de producto sino que además dañan otros productos que se encuentran en contacto con el envase con fuga.

Materiales mas comunes de los liners

- × Películas plásticas y laminados
- × Películas metálicas y laminados
- × Bases de polietileno espumado
- × Bases de cartón
- × Resinas de suspensión con plastificantes

3.2.1 Fabricación de liners para bebidas carbonatadas (Proceso INOPACK):

1. Se alimenta la máquina de materia prima que se calienta a 140°C y la deja lista para que cada cuchilla del primer carrusel tome la dosis equivalente a cada liner y la deposite en un molde individual llamado lanzadera.
2. Dicha lanzadera pasa enseguida al segundo carrusel donde se forma el liner por medio de presión.
3. A continuación la lanzadera entra en el tercer carrusel, donde se analiza la calidad del liner formado.

Enlaminado: Por otro lado, la máquina se alimenta de las tapas que pasan por un proceso similar al de los procesos anteriores y después entra al tercer carrusel donde se deposita el liner que ya fue revisado, y cumple con la prueba de calidad. (INOPACK. 1998)

3.2.2 Factores para seleccionar un liner

Los factores para seleccionar un liner son los siguientes:

- ↳ Compatibilidad (resistencia química)
- ↳ Apariencia, calibre, etc.
- ↳ Permeabilidad a gases como: vapor de agua, O₂, CO₂, N₂
- ↳ Torque (fuerza con la que es apretada o necesaria para quitar la tapa)
- ↳ Resistencia al calor
- ↳ Vida de anaquel
- ↳ Factor económico

Los liners pueden clasificarse en dos categorías: Homogéneos y Heterogéneos, y esto depende de la naturaleza de los materiales con que son fabricados, así se tienen liners elaborados con un solo material y otros que se elaboran con muy diversos materiales con el fin de proporcionar características de barrera o protección adicional. *(Rodríguez, 1997)*

3.3 Manejo y aplicación de taparrosca

El manejo y aplicación de la taparrosca plástica son fundamentales para el adecuado desempeño del material de fabricación de la tapa, y del diseño mismo de la tapa. Ya que de no controlar ciertos factores ambientales o de manejo, los materiales cambian sus propiedades mecánicas y de barrera

3.3.1 Condiciones ideales para el transporte de Tapa plástica en sistemas automáticos de alimentación.

A continuación se describe el procedimiento recomendado por algunos fabricantes de tapas para su manejo previo a la aplicación en el envase. Este procedimiento ha sido diseñado para minimizar los daños en la tapa ocasionados por el golpeteo con las paredes de las tuberías y el aplastamiento

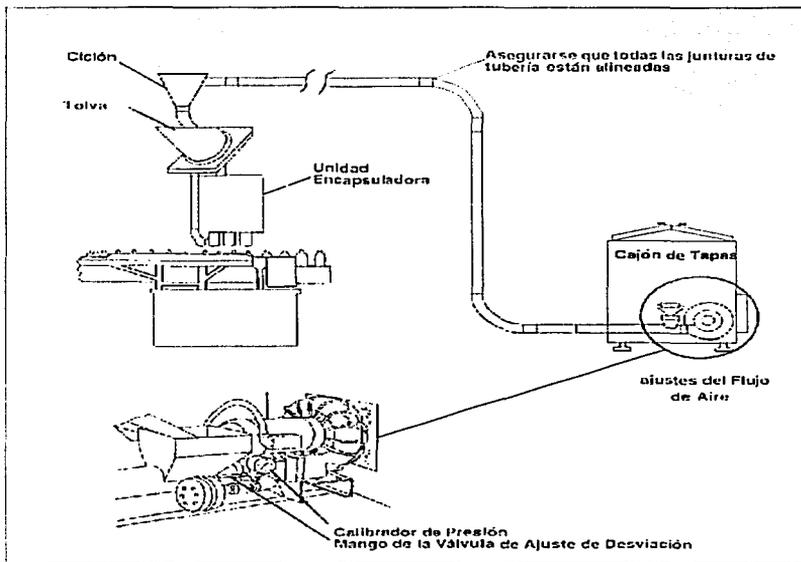
o aglomeración entre las mismas tapas, lo cual dificulta la eficiencia del proceso de envasado, generando pérdidas en la productividad y en la calidad del producto.

- 1) A la salida del depósito se colocará un tubo de 3 m de longitud antes de cualquier curva, esto con el fin de que la tapa tome velocidad antes de empezar a subir por el sistema de tubería (figura 9).
- 2) Las curvas deberán ser de 1.5 m de radio como mínimo, esto se hace para que la tapa se guíe con la forma de ésta y no golpee con la misma.
- 3) El sistema de tuberías deberá tener el menor número de curvas posibles y no colocar curvas demasiado cerca una de otra como se muestra en la figura 9.
- 4) El diseño del ciclón desacelerador debe ser tal, que elimine el aire del sistema y la tapa no golpee al final. Se necesita que la tapa lleve la mínima cantidad de aire antes de entrar a la tolva, con esto al llegar al disco seleccionador, la tapa caerá sin más fuerza que la gravedad.
- 5) La tubería deberá ser de 4" de diámetro o mayor para que la tapa tenga mayor espacio para transportarse.
- 6) Se recomiendan longitudes de tubería no mayores de 30 m, en todo el sistema, desde el depósito de tapas hasta el disco seleccionador.
- 7) No deberán existir filos o bordes dentro de la tubería que provoque que la tapa se golpee, de ser posible se recomienda que en las uniones de la tubería se coloque ferrulas clamp y abrazaderas.

Todos estos arreglos lograrán disminuir de forma considerable el flujo de aire en el sistema de tubería, de este modo la tapa no golpeará evitando el desprendimiento de la banda de seguridad.

En la figura 9 se muestra el diagrama que ilustra las recomendaciones mencionadas.

Figura 9. Sistema neumático típico de Transporte de Tapas



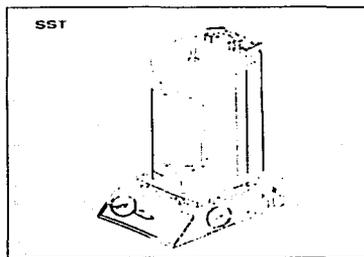
(Alcoa Closures International, 1999)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3 3 2 Prueba de aplicación de tapa plástica.

El Secure Seal Tester (SST) (figura 10) es un instrumento de prueba de precisión, usado para pruebas de sellado de tapa de aluminio roll-on y tapa plástica en botellas de vidrio o plástico. La prueba es realizada con inyección de agua en rangos controlados, la botella queda sumergida en un contenedor de agua. En la prueba, la presión interior excederá la carbonatación de la bebida contenida en el envase. La alta presión probará la seguridad de la aplicación de la tapa. Específicamente probará el sellado entre el acabado del cuello de la botella y la tapa plástica.

Figura 10. SST (Secure Seal Tester)



(Alcoa Closures International, 1994)

Notas:

- Las muestras se obtienen de la máquina a velocidad de trabajo.
- Para la prueba de desprendimiento de tapón deberán de retirarse las bandas de garantía cuidando no mover las tapas del acabado.
- Para pruebas de fuga de botella de PET deberá cortarse el cuello de la botella y utilizar el dispositivo especial.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los resultados obtenidos de la prueba de aplicación en el SST se interpretan usando como base el cuadro 4, en el cual se muestran los límites y tolerancias en cuanto a la presión de gas que debe de soportar una tapa plástica para su uso en bebidas carbonatadas. Se puede observar también en el mismo cuadro que la presión a la cual se admite la presencia de fugas de gas en la tapa y el desprendimiento de la misma, es mayor a 100 psi, lo cual representa un valor demasiado alto, sin embargo, este valor esta sólo un poco por encima del valor real al que será sometido la tapa en el producto final.

Cuadro 4. Interpretación de resultados en prueba de sellado de tapa.

| Presión | 0 psi | 100 psi | 125 psi | 150 psi | 175 psi |
|-------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------------|------------|
| Fuga de CO ₂ | Inaceptable | Acceptable (tendencia hacia un mal funcionamiento) | | Acceptable | |
| Desprendimiento de la tapa plástica | | Inaceptable | | Acceptable (tendencia hacia un mal funcionamiento) | Acceptable |

(Alcoa Closures Internacional, 1999)

3.3.3 Torque de Remoción e Incremento

Antes de definir los conceptos de torque de remoción e incremento, vale la pena revisar el concepto de torque:

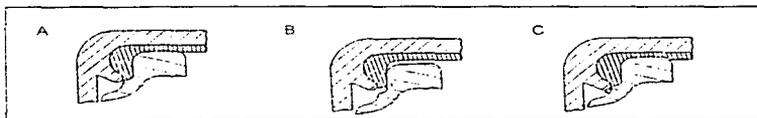
Torque: en física, medida del efecto de rotación causado por una fuerza. Es igual a la magnitud de la fuerza multiplicada por la distancia al eje de rotación, medida perpendicularmente a la dirección de la fuerza (1993-2000, *Microsoft Corporation.*).

1. **Torque de remoción:** se define como la fuerza de rotación en sentido opuesto de las manecillas del reloj, necesarias para remover la tapa.
2. **Torque de incremento:** es una indicación de cuán bien sellado está el paquete. El torque incremental indica el grado de contacto entre el acabado

de la botella y el material sellante, tanto para el sello lateral como el superior. En la figura 11 se muestran las variaciones en dicha condición.

- A. Paquete sellado correctamente: esta condición debería producir valores de torque de pruebas SST de retención de CO₂ dentro de especificaciones.

Figura 11. Variaciones en el torque incremental



(Alcoa, Closures International, 1994)

- B Tapas semisueeltas: esta condición implica contacto incompleto del sello lateral y falta total de contacto con del sello superior. En general produce torques bajos tanto de remoción como incremental. Además la tapa proporciona poca o ninguna resistencia a la pérdida de CO₂ al aplicar cualquier carga a la parte superior de la tapa.
- C. Tapa demasiado apretada: esta condición resulta cuando el sello de la tapa está torcido y comprimido. Esto causa torques tanto incrementales como de remoción muy próximos o que incluso exceden las especificaciones de torque máximo.
3. **Torque de remoción 24 hrs. después:** es el torque de remoción que se presenta tiempo después del capsulado donde intervienen otras condiciones en el resultado del torque (cambio de temperatura, aumento de presión, remanente de producto en el acabado de la botella, etc.)
 4. **Torque estático de aplicación:** es el torque con el que es calibrado un cabezal magnético antes de la función del capsulado. (Alcoa Closures International, 1999)

3.3.3.1 Teoría del torque de incremento, pérdidas y ganancias.

Torque de incremento: aunado a lo anterior puede definirse de cualquiera de las tres formas siguientes:

- Es la fuerza con la que fue aplicada la tapa plástica por el capsulador y se mide de manera inmediata sin que intervengan otros factores ajenos a la aplicación (cambio de temperatura, cambio de presión interna, secado del jarabe en el acabado, etc.).
- Es el reflejo del torque estático, pero con pérdidas o ganancias.
- Es la capacidad de sellado, es la cantidad de sello lateral que se encuentra haciendo contacto con la boca de la botella.

Aplicación ideal: cuando el torque de incremento es igual al torque estático del cabezal.

Pérdidas: sucede cuando el torque de incremento es menor al torque estático del cabezal, y estas afectan directamente a la calidad del producto, ya que al bajar la capacidad de sellado se tienen problemas de fuga de carbonatación.

Ganancias: suceden cuando el torque de incremento es mayor que el torque estático del cabezal, si bien este fenómeno es benéfico para la conservación de la calidad del producto, ya que aumenta la capacidad de sellado, es necesario controlarlas para evitar problemas de torque altos en el mercado o problemas de tapa fracturada durante la aplicación. (*Coca Cola FEMSA, 1999*)

Pérdidas y ganancias

Ganancias: (torque estático menor que torque de incremento)

1. Dureza del liner. Entre menos dureza tenga el material del liner de la tapa, mayor será su coeficiente de deformación, por tanto, aún teniendo un bajo torque de aplicación, el sellado lateral aumentará y así también, mayor será el torque de incremento.
2. Diámetro de la boca de la botella. Si el diámetro de la boca de la botella está bajo especificación el torque de incremento disminuirá y por

consecuencia el sellado entre la tapa y botella, en el caso contrario, si los diámetros están sobre especificación el torque de incremento aumentará, a pesar de que la botella y tapa se encuentren dentro de especificación, siempre se presentará un torque de incremento máximo y mínimo, pero no, uno igual en todos los casos, aunque se este utilizando un solo lote de botellas y tapas.

3. Diseño de los portadores magnéticos del cabezal. Los portadores magnéticos están hechos de un material base (generalmente aleación de aluminio) con un número determinado de insertos magnéticos naturales separados por una distancia igual entre sí, alrededor de todo el portador. Durante la operación de apriete, los portadores desensamblan entre si cuando alcanzan el máximo apriete al cual fueron calibrados (torque estático), pero existe un pequeño apriete adicional entre un desensamble y otro, mientras el cabezal esté ejerciendo presión sobre la tapa y botella, esto debido a la distancia que existe entre un inserto y otro, a mayor distancia mayor será el "brazo de palanca" ejercido sobre la aplicación. Por tanto, a alta velocidad los insertos son siempre jalados hacia delante debido a la acción de la máquina, así que el torque de incremento aumenta. A velocidad baja o moderada el apriete adicional disminuye, debido a que el inserto tiene equilibrada la fuerza entre el que está empujando y el que es jalado.
4. Posición de la tapa sobre la botella (consecuencia de lo anterior). La tapa requiere 2 ½ vueltas completas para hacer un sellado entre liner lateral y la boca de la botella, esto solo si la primera rosca de la tapa queda encima de la primera rosca de la botella, y solo requeriría 1 ½ vueltas si la primera rosca de la tapa queda sobre la segunda rosca de la botella (antes de la parte inferior de la primera rosca), si el cabezal da 3 vueltas completas al primer caso le costará ½ vueltas más de apriete y al segundo caso 1 ½ vueltas más de apriete, si tomamos en cuenta el diseño de los portadores el segundo caso recibirá mas aprietes por

- desensamblable de los portadores y por tanto tendrá un mayor torque de incremento entre tapa y botella.
5. Aumento de la presión superior de carga (moderada). si aumentamos la fuerza vertical sobre la tapa y botella durante la aplicación, el sello lateral penetrará más en la boca de la botella originando un mayor torque de incremento. en caso contrario el bajar la carga superior disminuirá la penetración del liner y por tanto el torque de incremento. Presiones de carga demasiado altas (deformación de roscas en la tapa) o muy bajas (botellas girándose) provocarán que el torque de incremento salga muy bajo.
 6. Botella alta. Las botellas de uso que tienen varias vueltas en la línea de producción (retornables), tienden a disminuir su tamaño con el tiempo, por lo que al mezclarse con botellas de menor tiempo de uso la altura tiende a variar entre sí, la torreta se encuentra calibrada a una altura de trabajo estándar, cuando una botella con el tamaño adecuado pasa por la aplicación de la tapa, recibirá una mayor presión que una tapa que este por debajo de la media, por tanto la primera dará como resultado un torque de incremento mayor que la segunda.
 7. Cabezal magnético con baleros dañados. Un balero dañado provoca rozamiento entre sus paredes lo que hace que este se auto frene, así la calibración de los portadores magnéticos puede romper al alcanzar su máximo, pero el balero obligará a seguir apretando.
 8. Cabezal sucio. Si se tiene un cabezal con sus componentes sucios estos rozaran entre ellos provocando que los portadores magnéticos no realicen su labor correctamente ya que no será el campo magnético el que controle el torque sino la conjunción de todas las fuerzas de rozamiento existentes en el cabezal. (*Coca-Cola FEMSA, 1999*)

Pérdidas (torque estático mayor que el torque de incremento)

1. Botella girando: la primera condición para una buena aplicación de tapa plástica es que la botella no se gire durante la aplicación, si la botella se

está girando lo único que controlará el torque de incremento es el peso de la botella, entre más pesada sea una botella mayor torque resultará, entre más pequeña sea la presentación menor será el torque de incremento.

2. Botella con altura baja (retornable): en el caso de envases retornables de plástico se tiene el problema que con el paso del tiempo y el uso de la botella va perdiendo su altura original, por tanto, los lotes de botellas durante producción tienen diferentes alturas variando esta entre 8 mm generalmente, la carga de trabajo es de 5 mm de penetración, por tanto existe botella que no recibe carga superior y existe el problema de que se tienen pérdidas negativas.
3. Presión superior de carga extremadamente alta: si existe mucha presión superior de carga existe una fuerza de rozamiento de la misma magnitud y con resultante a lo largo de las roscas, el torque estático del cabezal es el que se aplica para vencer esta fuerza de rozamiento, pero solo hasta el punto en que los rozadores magnéticos se desacoplan, por tanto el tapón queda alto y con bajo torque de incremento, en casos extremos la fuerza del resorte deforma las roscas de la tapa provocando que esta se atore en el acabado, de nueva cuenta el torque estático del cabezal deberá vencer esta deformación hasta el máximo de su calibración del campo magnético.
4. Botella con acabado de botella desalineado: la desalineación de la botella se puede deber a ella misma o también a una mala sincronización de la estrella central, en este caso se genera una fuerza de forma lateral sobre un punto flotante en la botella (este punto se mueve junto con la tapa al momento de la aplicación), la resultante de esta fuerza es de rozamiento sobre la pared del acabado de la botella, nuevamente como en el caso anterior el cabezal tiene la función de vencer esta fuerza, esta alcanzar el máximo de su ajuste.
5. Botella con acabado ovalado (ref pet): si se trata de aplicar una tapa plástica sobre un acabado ovalado se genera una doble fuerza flotante

ubicada en los extremos del máximo diámetro del ovalamiento y la resultante es de rozamiento sobre las paredes de la botella. en este caso se repite que es el cabezal el que deberá hacer la función de vencer este rozamiento.

6. Tapa con roscas jaladas: este es un defecto de fabricación de la tapa, si esta sale muy caliente las roscas son jaladas hacia la banda de garantía, al estar deformadas las roscas estas se atorán contra las cuerdas de la botella, lo que provoca que exista mayor rozamiento. el cabezal de nueva cuenta deberá vencer esta fuerza. (*H.C. Industrias de México, 1996*)

3.4 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales plásticos

Las propiedades de un material plástico, dependen en primer lugar de las características químico-físicas de la resina base y de los aditivos utilizados para mejorar o modificar alguna propiedad de la resina.

En general, los materiales termoplásticos con estructura lineal, pueden ser subdivididos en dos subgrupos con referencia a su acomodo molecular:

- polímeros con estructura amorfa
- polímeros con estructura parcialmente cristalina

La diversa estructura molecular no sólo influye en el comportamiento en el proceso de fusión y solidificación, sino que también determina las propiedades físicas y mecánicas.

En los polímeros con estructura amorfa la fusión no se realiza a una temperatura determinada. En estos materiales amorfos (sin refuerzos fibrosos u otras cargas inertes), la contracción en el moldeo está limitada entre 0.3 a 0.9 %.

Los polímeros con estructura parcialmente cristalina, constituidos por partes amorfas u partes cristalinas, presentan un característico "punto de fusión" que corresponde a la transición del estado sólido al estado fluido.

Estos polímeros con estructura semicristalina tienen una contracción en el moldeo mucho más elevada que respecto a los materiales amorfos.

La contracción para un polímero no reforzado varía del 1 al 5%. La estructura semicristalina hace a estos materiales más resistentes a los agentes químicos (solventes, sustancias ácidas o básicas, etc.) y menos sensibles a los aumentos de temperatura en cuanto que mantienen las características de resistencia mecánica y de rigidez hasta la proximidad del punto de fusión. (*Bodini, 1993*)

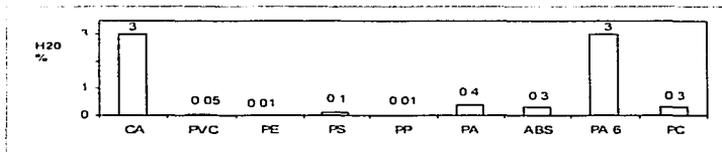
El ablandamiento y la deformación viscosa ocurren porque muchos polímeros son predominantemente amorfos, con poca cristalinidad. Una carga sostenida tiene el mismo efecto sobre los polímeros que una elevada temperatura, ya que bajo cualquiera de estas condiciones, las moléculas pueden reacomodarse como respuesta a los esfuerzos. De manera inversa, los plásticos son frágiles a bajas temperaturas o bajo carga de impacto, debido a que hay poca oportunidad para la redistribución de esfuerzos a través de reacomodos moleculares.

Los polímeros se degradan por varios mecanismos. El más severo es el de separación, en el que las uniones intermoleculares se rompen por efecto de una alta energía local. Cabe señalar, que esta energía está disponible en la luz ultravioleta y en los neutrones, por lo que no es sorprendente que la presencia de éstos en el medio ambiente, afecte significativamente a los polímeros. (*Van Vlack, 1991*)

Otra característica ligada a la naturaleza química de los polímeros termoplásticos es su tendencia a absorber agua (hinchazón), ya sea del ambiente (aire húmedo) o por inmersión directa. En la figura 12 se indican los valores de absorción de agua (aumento porcentual del peso) que varía notablemente de un tipo de resina a otro. Se trata de un índice que puede proporcionar información sobre la estabilidad dimensional de los diversos polímeros. Mientras menor sea la disposición para absorber agua, mejores serán los resultados en cuanto a estabilidad dimensional y a su propiedad aislante.

En el caso particular que se analiza, debemos considerar que los materiales con los que se elaboran los envases de las bebidas carbonatadas deben mantener sus características dimensionales entre la boca del envase y la tapa, ya que de lo contrario pueden originarse pérdidas de carbonatación y de producto al romperse la hermeticidad ocasionada por una posible expansión de los materiales al absorber humedad del mismo producto.

Figura 12. Absorción de agua en algunos polímeros termoplásticos (aumento del peso porcentual)



(Bodini, 1993)

Por otra parte, los materiales plásticos, (ya sean termoplásticos o termofijos) deben ser moldeados o extruidos con un mínimo de humedad para evitar la formación de vapor de agua durante el proceso.

Naturalmente las piezas moldeadas salen de los moldes completamente deshidratadas (prácticamente secas) pero tienden a absorber lentamente humedad del ambiente. Consecuentemente las piezas moldeadas que han absorbido agua en mayor o menor cantidad varían sus dimensiones, su resistencia mecánica y sus características aislantes. (Bodini, 1993)

Las propiedades mecánicas de un material describen el modo en que éste responde a la aplicación de una fuerza o carga. Solamente se pueden ejercer tres tipos de fuerzas mecánicas que afectan a los materiales: compresión, tensión y cizalla. Las pruebas mecánicas consideran estas fuerzas por

separado o combinadas, las pruebas de tracción, compresión y cizalla sirven para medir sólo una fuerza, mientras que las de flexión, impacto y dureza implican dos o más fuerzas simultáneas.

Algunos conceptos relacionados con las propiedades mecánicas de los polímeros se describen a continuación:

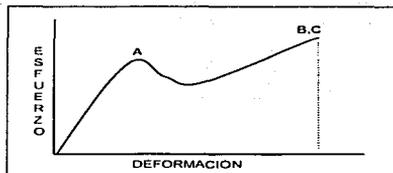
Esfuerzo. Se le llama presión a la fuerza que se aplica sobre una superficie. Sin embargo, el término técnico utilizado para presión es tensión o esfuerzo. La unidad métrica para la tensión es el pascal (Pa). En el sistema británico, la unidad básica es libras por pulgada cuadrada (psi).

Deformación. El cambio de longitud con respecto a la longitud original se denomina deformación. La deformación se mide en milímetros por milímetros (pulgadas por pulgada). Se puede expresar en forma porcentual, denominándose entonces porcentaje de elongación.

Diagramas de esfuerzo – deformación. Hoy en día los aparatos que miden la tracción crean diagramas de *esfuerzo-deformación*. Estos gráficos documentan con precisión el esfuerzo realizado sobre la muestra y la deformación que resulta con todos los niveles de carga.

Para entender las curvas esfuerzo-deformación es necesario estar familiarizados con algunos términos técnicos. En la figura 13 se presenta un ejemplo de diagrama esfuerzo-deformación también denominada carga-extensión del policarbonato, en el cual *el límite de elasticidad A* es el punto de la curva donde se incrementa la extensión sin aumentar la carga (esfuerzo). Hasta llegar al límite de elasticidad, la resistencia del PC a la fuerza aplicada es lineal. Después del punto A, la relación entre el esfuerzo y la deformación ya no es lineal. El cálculo puede proporcionar la resistencia a la deformación y la elongación en la deformación.

Figura 13 Curva de esfuerzo-deformación del policarbonato

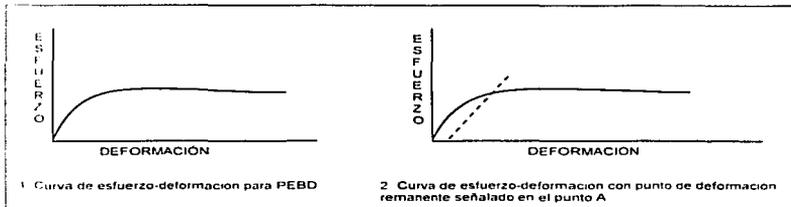


(Richardson, 1997)

En el punto de rotura B, el material falla completamente y se fractura en dos piezas. Los cálculos pueden suministrar la resistencia a la rotura y la elongación en la rotura. La resistencia última mide la resistencia máxima del material al esfuerzo. En una curva de esfuerzo-deformación, corresponde al punto C máximo.

Existen otros materiales como el PEBD, en los cuales el límite de elasticidad no está claramente definido figura 14 (gráfico 1). No obstante, para determinar la

Figura 14. Curva de esfuerzo-deformación del PEBD



(Richardson, 1997)

resistencia o elongación a la deformación, debe localizarse tal límite. El punto de deformación remanente utilizado cuando una curva no resulta concluyente

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

es el punto en el que una línea paralela a la porción lineal y desplazada en una cantidad especificada corta a la curva. En el gráfico 2 (figura 14) se muestra la línea desplazada y la localización de su intersección con la curva de esfuerzo-deformación (punto A).

Tenacidad. Para comprender este término conviene graficar el esfuerzo vs. deformación, de las curvas obtenidas para los plásticos, se puede concluir como generalización que los materiales frágiles suelen ser mas resistentes y menos extensibles que los blandos. Los plásticos más débiles presentan frecuentemente una alta elongación y una baja resistencia. Algunos materiales son a la vez resistentes y elásticos. El área bajo la curva representa la energía necesaria para romper la muestra. Esta área es una medida aproximada de la *tenacidad*, por lo que el material con mayor tenacidad presenta la mayor porción de área bajo la curva de esfuerzo-deformación.

Módulo de elasticidad. También llamado de tracción o de Young, se define como el coeficiente entre el esfuerzo aplicado y la deformación resultante, dentro de un intervalo lineal de la curva de esfuerzo – deformación. El módulo de Young no tiene sentido para esfuerzos que superan el límite de elasticidad. (Richardson, 1997)

Se calcula dividiendo el esfuerzo (carga) en pascuales por la deformación (mm/mm). Matemáticamente, el módulo de Young coincide con la pendiente de la porción lineal de la curva de esfuerzo-deformación. Cuando la relación lineal hasta la deformación permanece constante, al dividir la resistencia a la deformación (Pa) por la elongación hasta la deformación (Pa) por la elongación hasta la deformación (mm/mm) se obtiene como resultado el módulo de elasticidad.

Módulo de Young = esfuerzo (Pa) / deformación (mm/mm)

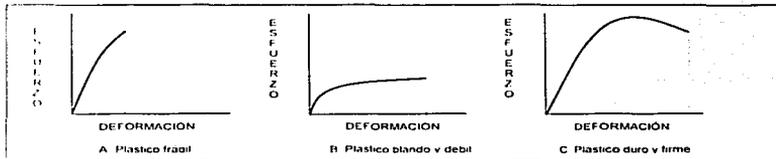
La razón entre de la fuerza de tracción y la elongación es un parámetro útil para predecir hasta que punto se estirará una pieza bajo una carga determinada. Un módulo de tracción grande indica que un plástico es rígido y resistente a la

elongación. Este concepto es importante para la elaboración de envases para bebidas gaseosas debido al manejo posterior al envasado al que deberá estar sujeto (desde que se forman los paquetes de 12 botellas, se someten éstas a esfuerzos de deformación), en el caso de las tapas se requiere que el material no se fracture a la presión del torque, sin embargo, en este caso se requiere mayor rigidez que para el caso de la botella dada la tensión que deberá de soportar

Algunos polímeros, en particular, los elastómeros, se usan en estructuras con propósitos de aislamiento y absorción de choques y vibraciones. En tales aplicaciones, es más útil el módulo elástico "dinámico" para caracterizar el desempeño del polímero bajo una carga mecánica oscilante. En general, para los elastómeros, el módulo dinámico es más grande que el módulo estático.

En la figura 15 podemos observar los tres tipos de materiales plásticos en función de la curva resultante de cada uno de ellos al someterlos a un mismo esfuerzo, con esto es posible predecir su comportamiento para una aplicación en la cual sean sometidos a un esfuerzo o carga conocida. En la gráfica A se

Figura 15. Curvas de esfuerzo-deformación de 3 tipos de materiales plásticos



(Richardson, 1997)

presenta la curva de esfuerzo-deformación para un polímero frágil, es decir, que presenta poca elongación ante un esfuerzo mayor, esto es de utilidad para la elaboración de tapas para envases de bebidas carbonatadas, ya que deberán resistir la tensión del torque con un mínimo de deformación.

En la gráfica B observamos un plástico blando que al menor esfuerzo rompe su estructura, pero alcanza un alto grado de elongación por lo cual este tipo de material no es adecuado para la elaboración de envases de bebidas carbonatadas. Por último tenemos un material plástico duro y firme (gráfica C), el cual presenta parte de las características de los materiales A y B, ya que presenta buena elongación pero con un esfuerzo mayor que en el segundo caso, este tipo de materiales puede ser apropiado para elaborar los envases para las bebidas carbonatadas dadas sus características de elongación y de rigidez combinadas.

Resistencia a la compresión (ISO 604, ASTM D-695). La resistencia a la compresión es un valor que indica la fuerza necesaria para romper o triturar un material. Los valores de resistencia a la compresión pueden ser útiles tanto para distinguir plásticos, como para comparar plásticos con otros materiales. La resistencia a la compresión reviste una gran importancia en las pruebas de plásticos celulares y expandidos. Este concepto tiene poca importancia en la selección de materiales para el envasado de bebidas carbonatadas debido a que este tipo de fuerza mecánica presenta escasa aplicación durante el proceso de elaboración y distribución de las bebidas gaseosas.

Resistencia a la cizalla (ASTM 732). La resistencia a la cizalla es la carga máxima (tensión) para producir una fractura mediante una acción de cizalla. Para calcular la resistencia a la cizalla, se divide la fuerza aplicada por el área de la sección transversal de la muestra sometida a un esfuerzo cortante. Al igual que en el caso anterior presenta poca aplicación para las bebidas carbonatadas.

Resistencia al impacto. La resistencia al impacto no es una medida del esfuerzo necesario para romper una muestra, sino que indica la energía absorbida por la muestra antes de su fractura. Existen dos métodos esenciales para determinar la resistencia al impacto: a). Pruebas de caída de una masa

(ASTM D-1709); b) Prueba de péndulo (ISO 179, ASTM D-256). Dado el tipo de aplicación de tapas, puede considerarse la resistencia al impacto de un material para la fabricación de las mismas (de acuerdo en lo descrito en el capítulo 3.3 la tapa es transportada hacia el capsulador mediante un sistema neumático y es desacelerada con ayuda de un ciclón para depositarse en la tolva, en este proceso ocurren impactos entre las tapas, las paredes de la tubería y la tolva).

Resistencia a la flexión (ISO 178, ASTM D-790 y D-74). La resistencia a la flexión mide la cantidad de tensión (carga) que se puede aplicar a un material sin que se rompa. Al doblar una muestra, participan tanto fuerzas de tracción como de compresión. Se sujeta la muestra de ASTM sobre bloques de ensayo separados por una distancia de 100 mm. En el procedimiento ISO se varía la distancia con arreglo al grosor de la muestra. La carga se aplica en el centro.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los plásticos no se rompen al curvarlos, no es fácil calcular la resistencia a la flexión en la fractura. En el método de ASTM, en la mayor parte de los termoplásticos y elastómeros se mide cuando se produce un 5% de deformación de las muestras. La forma de hallarla consiste en medir la carga en pascales que hace que la muestra se estire un 5%. En el procedimiento ISO se mide la fuerza cuando el pliegue equivale a 1,5 veces el grosor de la muestra. Esta técnica es aplicable en la selección de materiales de envase, en este caso de las tapas de bebidas carbonatadas, ya que es importante para conocer hasta que punto éstos materiales pueden deformarse sin romperse ya que la tapa deberá resistir una cierta deformación ocasionada por el torque de cierre.

Dureza. El término dureza no describe una propiedad mecánica concreta o simple de los plásticos. La resistencia al rayado, el desgaste y la abrasión están muy conectados con la dureza.

La prueba de dureza de Rockwell indica la dureza por determinación de la diferencia de profundidad de penetración de dos diferentes cargas. (Richardson, 1997)

Este punto es importante ya que durante el manejo de las botellas de bebidas carbonatadas se someten al desgaste ocasionado por el roce entre ellas, entre los barandales y con el mismo transportador por el cual se conducen al embalaje. Lo anterior ocasiona lo que los embotelladores denominan rayado de la botella o scuffing, el cual ocasiona deterioro en la imagen del envase; en el caso de las tapas, su importancia reviste en el hecho de la generación de polvo ocasionado por el roce entre las tapas durante su transporte y aplicación, y que en ocasiones puede incluso llegar a encontrarse en el producto terminado.

3 4 1 Falla mecánica de los polímeros y especificaciones ASTM

El ablandamiento y la fluencia pueden ser los primeros pasos en la determinación de la utilidad de un producto plástico. Sin embargo, las fallas por fractura, fatiga y/o desgarramiento (que pueden ser causadas por la tensión que provoca la presión de CO₂ sobre la tapa de bebidas carbonatadas) son más obvias para el promedio de los consumidores. Estas últimas llamadas fallas finales son características conjuntas en las dimensiones y formas del producto y la carga, así como del material mismo que los forma. Como ilustración, una bolsa de plástico que se usa para ir de compras muestra una resistencia considerable, medida en unidades de lb/in². Pero si tomamos un cuchillo y hacemos un pequeño corte en ella, entonces será fácil desgarrarla. De igual forma la rotura en los productos plásticos, generalmente se inician en los rincones u otros puntos en donde se concentran los esfuerzos.

Al diseñar objetos de plástico, el ingeniero utiliza pruebas normalizadas para indicar las principales propiedades de los plásticos que está tomando en cuenta, pero también depende de extensos análisis de tensión y servicio simulado, antes de llegar al diseño final. Esto lleva a una variedad de importantes pruebas especializadas que han sido desarrolladas bajo los auspicios de la ASTM y otras asociaciones similares (DIN, UNI, ISO, etc.). (*Van Vlack, 1991*)

Los usuarios de los materiales plásticos que llevarán a cabo la transformación en serie, podrán de esta manera disponer de materiales comprobados y de calidad uniforme, dentro de los límites permitidos por las normas. Sin embargo, la certeza de obtener productos moldeados de buena calidad, no depende sólo de la buena selección de un material plástico apropiado sino también de un buen proceso de transformación. (Bodini, 1993)

Algunos materiales plásticos y sus especificaciones se mencionan en el cuadro 5 de tal manera que podemos usarlas para saber las características del material plástico en caso de no contar con el equipo necesario para realizar su caracterización. Lo anterior es válido si el material se encuentra en las condiciones especificadas por la ASTM al momento de la prueba (temperatura, humedad, espesor de película, etc.)

Cuadro 5. ASTM D 4000, especificaciones de materiales plásticos

| Material Plástico | Estándar ASTM |
|-------------------------------|---------------|
| Fenoles | D 4617 |
| Poliamida (nylon) | D 4066 |
| Policarbonato | D 3935 |
| Polioximetileno (acetal) | D 4181 |
| Polipropileno | D 4101 |
| Poliestireno | D 4549 |
| Estireno-acrilonitrilo | D 4203 |
| Elastómeros Termoplásticos | D 4550 |
| Poliéster termoplástico | D 4507 |
| Acronitril-butadieno-estireno | D 4673 |

(ASM International, 1998)

En el cuadro 6 se mencionan algunos de los tests de prueba (como complemento de los que se mencionan en la sección 3.4) usados comúnmente en plásticos. Se menciona solo la referencia del manual de la ASTM como institución reguladora de pruebas para plásticos. La utilidad de la técnica varía

de acuerdo al tipo de aplicación, en el caso de las bebidas carbonatadas las pruebas más importantes son las propiedades elásticas y las de resistencia al impacto.

Cuadro 6. Métodos de prueba ASTM

| No. ASTM | Descripción del método de prueba |
|--------------------------|----------------------------------|
| Pruebas mecánicas | |
| D 256 | Resistencia al impacto |
| D 638-61T | Propiedades de tensión |
| D 695 | Propiedades de compresión |
| D 790-63 | Propiedades de flexión |
| D-621-64 | Deformación bajo carga |
| D-785-62 | Dureza Rokwell |
| D 953 | Fuerza de orientación |
| Pruebas químicas | |
| D 543 | Resistencia química |
| D 150 | Absorción de agua |

(ASM International, 1998)

3.4.2 Datos de comportamiento

En muchas aplicaciones, la elección de un tipo y grado de polímero depende de que se logre un adecuado equilibrio entre la rigidez, la resistencia al impacto, la facilidad de transformación y el precio. En algunos casos particulares, es preciso llegar a una optimización, ya que se trata de factores que no pueden cambiarse independientemente. Por ejemplo, cualquier intento que se haga por aumentar la resistencia al impacto, llevará consigo la correspondiente disminución en la rigidez. En este sentido, la idea de mejorar las propiedades mecánicas a base de aumentar el peso molecular puede tener como consecuencia una mayor dificultad en el proceso de transformación. Por otro lado, ningún ensayo aislado es capaz de especificar la rigidez o la resistencia al

impacto necesarios para una aplicación determinada. Por ejemplo, la rigidez varía con el tiempo, con la temperatura y con la carga, mientras que la resistencia al impacto depende de la temperatura, condiciones de transformación y diseño del artículo. (*Ogorkiewicz, 1969*)

3.5 Materiales plásticos utilizados en la elaboración de tapas

Algunos de los materiales más utilizados para la fabricación de tapas para bebidas carbonatadas son el polipropileno y el polietileno de alta densidad, la utilización de éstos materiales ha sido extendida a tal grado que la tecnología para su producción ha sido adaptada de acuerdo a las características de éstos materiales lo cual dificulta en algunos casos la utilización de nuevos materiales.

Polipropileno

El polipropileno es un termoplástico que pertenece a la familia de las Poliolefinas se obtiene a través de la polimerización del propileno. Este polímero tiene un alto grado de ordenamiento y cristalinidad, presenta buenas propiedades mecánicas y resistencia térmica.

Este material también se conoció como Polipropileno Homopolímero y a pesar de que tenía excelentes propiedades físicas, no cubría otras como resistencia al impacto. En la década de los 60's se desarrolló un Polipropileno Copolímero, formado por etileno y polipropileno que tiene mayor resistencia al impacto y mantiene las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas de un homopolímero, contando con un mayor campo de aplicación, sin embargo, el desarrollo de nuevos productos obligó a mejorar aún más sus propiedades mecánicas. (*Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 1997*)

El polipropileno es un polímero termoplástico con gravedad específica de 0.91. Existen tres tipos de Polipropileno que se obtienen por el proceso de polimerización: homopolímero, copolímero impacto y copolímero random.

Asimismo, si se agregan diferentes porcentajes de cargas minerales o fibra de vidrio, producen otra gran variedad de Polipropilenos Modificados.

Analizando las propiedades del Polipropileno Copolímero y Homopolímero se observa que éstas se encuentran muy cercanas, con la única diferencia de que el Polipropileno Copolímero, posee una mayor resistencia al impacto y el Homopolímero, presenta mayor resistencia a la temperatura.

Polipropileno. Propiedades de Barrera:

El factor más importante que afecta la transferencia de masa en un material plástico es la resistencia de dicho material a la permeación, lo cual depende en gran medida de la química del polímero. La naturaleza química del polímero como la orientación molecular, influye mucho más que cualquier otro factor externo. (Brown, 1992)

Las publicaciones sobre coeficientes de permeabilidad para gases en varios polímeros son más abundantes que para líquidos, con excepción del agua.

En el cuadro 7 se observa el coeficiente de permeabilidad del polipropileno y otros materiales usados frecuentemente en la elaboración de envases y tapas para bebidas carbonatadas. Se observa que de los gases que se mencionan en la tabla, el CO₂ es el que debido a sus características moleculares tiene las mayores posibilidades de transmitirse a través de los distintos materiales que se mencionan en el cuadro. Por otra parte, al igual que en el caso del PET para la elaboración de los envases de las bebidas gaseosas, se observan otros materiales que presentan mayores ventajas en cuanto a la barrera al CO₂ sin embargo, debemos considerar también los requerimientos en cuanto a las características mecánicas de los materiales para su aplicación en la elaboración de tapas para bebidas carbonatadas.

En este sentido, los datos indican (cuadro 7) que algunos polímeros presentan excelente barrera a los gases, pero una mediocre barrera a la humedad y viceversa. Por ejemplo el PE y el PP presentan excelentes barreras a la transmisión de humedad, pero una pobre barrera al paso de gas carbónico y

oxígeno; caso contrario ocurre con el Poliacrilonitrilo (PAN), el cual por su naturaleza polar, se presenta como un material hidrofílico, lo cual lo hace inadecuado para elaborar envases y tapas para bebidas carbonatadas.

Cuadro 7. Propiedades de barrera del Polipropileno y otros materiales

| MATERIAL | TRANSMISIÓN | | |
|----------|-------------|-----------------|---------------|
| | OXÍGENO | CO ₂ | VAPOR DE AGUA |
| PET | 2.6 | 31 | 1.7 |
| PETG | 40 | 200 | 6 |
| PVC | 12 | 24 | 2 |
| PVDC | 0.016 | 0.47 | 0.16 |
| PEAD | 213 | 900 | 0.5 |
| PEBD | 600 | 300 | 1 |
| PP | 360 | 950 | 0.8 |
| PA | 2.6 | 4.7 | --- |
| PAN | 1.24 | 1.7 | 7.8 |
| ÉVAL | --- | 0.13 | 6 |

cm³/0.001 pulg² 24 h a 1 atm/23 °C 0% h.r.

(Instituto Mexicano del Plástico Industrial. 1997)

Polipropileno. Propiedades mecánicas:

Las propiedades mecánicas del Polipropileno están en función del peso molecular y del grado de cristalinidad

- Resistencia a la tensión: presenta un valor medio en comparación con los demás termoplásticos, la ventaja es que su resistencia se incrementa considerablemente durante el proceso de fabricación de películas.
- Elongación: el polipropileno tiene un excelente rango de elongación, fluctúa entre 400 y 430 % utilizando cargas de 300 a 400 kg/cm².

- Resistencia al impacto: es de 6.8 a 8.16 kg*cm/cm, y por esta propiedad se utiliza para fabricar carcazas de electrodomésticos, gabinetes, botellas, etc.

Polietileno de alta densidad PEAD

Sus nombres comerciales son padmex y lupolen. El producto es utilizado para inyectar tapas, taponés, caperuzas, etc. Se emplea en el proceso de extrusión sopló para la fabricación de botellas y envases generalmente económicos de calidad intermedia. Su temperatura de uso permanente no perjudicial tiene como máximo los 105 °C. Su densidad a 20 °C es de 0.96 gr/cm³. El tiempo de secado que requiere es de 1 a 1.5 hrs. a 65 °C. Para la construcción de moldes hay que contar con una contracción en volumen de 2.0 a 4.0 %.(*Brown, 1992*)

Las características de los envases fabricados con polietileno son:

- ✓ Gran resistencia a temperaturas bajas
- ✓ Buena flexibilidad
- ✓ Resistencia a la formación de grietas por tensiones
- ✓ Hermeticidad al vapor de agua y a otro tipo de gases
- ✓ Admite todo tipo de alimentos

El polietileno de alta densidad ocupa el 14.2 % del mercado de resinas sintéticas. (*BANCOMEXT, 1996*)

Comparación de las características del polietileno, polipropileno y otros materiales plásticos

A continuación se muestran (cuadro 8) las propiedades más importantes del Polipropileno, comparadas con Polietileno y otros materiales plásticos, los cuales pueden competir con los primeros en algunas características que son favorables para la producción de envases de bebidas carbonatadas, como es el caso de la poliamida (PA), la cual presenta valores de módulo de tensión, de resistencia la tensión y elongación similares a los del PP y PEAD, sin embargo,

este material tiende a absorber agua (sección 3.4, Fig. 12), lo cual provoca una disminución de 50% aprox. en las propiedades mencionadas (CPM, 1988)

En el caso del PVC, éste presenta buenas características mecánicas, sin embargo, su uso está restringido para contacto directo con alimentos. El EVA es un material que presenta excelentes propiedades mecánicas para su empleo en tapas y liners para bebidas carbonatadas, aunque su uso se ha restringido principalmente por factores económicos.

Por otro lado, como se observa en el cuadro 8, debido a que en algunas propiedades el Polietileno y el Polipropileno se asemejan, se pueden emplear indistintamente en algunos artículos, sin embargo, existen aplicaciones en las que es necesario una distinción más detallada entre sus propiedades como la resistencia a la tensión en la cual el PP se encuentra en un mejor nivel en comparación con el PEAD, lo cual lo hace una mejor opción para la fabricación de tapas para bebidas carbonatadas.

Cuadro 8. Comparación de propiedades de Polipropileno con Polietileno y otros materiales plásticos

| MATERIAL | Peso molecular (g/mol) | Densidad (g/cm ³) | Modulo de tension (MPa) | Elongacion (%) | Resistencia a la tension (Kg/cm ²) | Dureza |
|----------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------------------------------|----------|
| PA | 1.14 | 1.18 | 3000 | 30 | 700-800 | 85 D |
| PEN | 242 | 1.3471 | 2500 | 48.53 | -- | -- |
| PVC | -- | 1.15 | 2964 | 85 | 250-350 | -- |
| PET | -- | -- | 1700 | -- | -- | 105 R |
| PAN | 56.03 | -- | -- | 16 - 32 | -- | -- |
| EVA | -- | 1.14 - 1.20 | 2062 - 3138 | 200-380 | -- | 88-104 R |
| PP | 42.01 | 0.91 | -- | 10-700 | 280-420 | 60-90 R |
| PEBD | -- | 0.91-0.935 | 102-310 | 100-800 | 50-210 | 40-60 D |
| PEAD | -- | 0.92-0.99 | 60-290 | -- | 210-380 | 45-70 D |

(James, 1999; Askeland, 1987)

3.6 Criterios de selección de cierres.

Es conveniente seleccionar cuidadosamente los materiales plásticos considerando siempre el producto final. Las propiedades de los plásticos dependen más de la temperatura que ningún otro material. El plástico es más sensible a los cambios medioambientales, por lo que muchas familias de plásticos pueden tener un uso limitado. No existe ningún material que englobe todas las cualidades deseadas, pero se pueden compensar las insuficiencias con el diseño del producto. (Richardson, 1997)

Una guía general para la selección de cierres se describe como las 5 C's de los cierres.

Contención: los requerimientos esenciales de contención son la compatibilidad del producto y la habilidad para proveer protección funcional. Esta función tiene que ver con la elección método de cerrado, tipo, material y sistemas de sellado. Para determinar el sistema de sellado, por ejemplo, puede involucrarse decisiones como el usar un tipo de tapa con liner incluido (linerless) o si se le coloca una tapa con liner prefabricado, ya que pudiera darse el caso de la incompatibilidad del producto y el liner. De la misma forma involucra el aspecto del torque o apriete ya que si éste no fue suficiente, la función de contención del envase puede verse afectada

Conveniencia: algunos tipos de envases ofrecen diseños que presentan ventajas de tipo ergonómico y funcional, en los que se pretende facilitar por ejemplo, la apertura del cierre y a la vez facilitar la dosificación del producto por medio de dispositivos diseñados para tal fin. Lo anterior es conveniente para el consumidor, pero debe considerarse si este sistema de cierre es por un lado adaptable a las condiciones del proceso de producción y si el costo del mismo no impacta de manera desfavorable en el precio final del producto.

Control: una variedad de productos utilizan sistemas de evidencia de apertura o a prueba de niños. El costo y las necesidades de sellado determinarán las

opciones en el control de los cierres, o bien, si es requerido un sistema secundario de sellado. Muchas reclamaciones de consumidores resultan de un inadecuado sistema de apertura y cierre

Comunicación: la apariencia del cierre es percibida como un reflejo de la calidad del producto. Actualmente los cierres contienen información de utilidad para el consumidor como la fecha de caducidad, información del fabricante, etc. Por otro lado este tipo de información no es solo escrita o gráfica, también puede ser auditiva como en el caso de las tapas con botón de seguridad en las cuales se escucha un sonido específico al ser destapados por primera vez y que nos indica la inviolabilidad del producto. Al determinar el tipo de comunicación requerida y seleccionando las opciones gráficas se puede maximizar el impacto en el consumidor y la redituabilidad del cierre y el envase.

Costo: el costo es una de los factores que dependen de los requerimientos de producción. El moldeo de los termoplásticos, es por ejemplo, mas caro que el de los termoestables, pero son más vendidos y las resinas son más económicas, lo cual puede, en grandes volúmenes proveer ventajas económicas. Pueden obtenerse ahorros con el uso de tapas con liner o linerless siempre y cuando se mantenga la integridad del sellado. De la misma forma se pueden obtener beneficios económicos al seleccionar materiales de cierre que permitan reducir el costo de embalaje y transporte. (A. L. Brody, 1997)

3.6.1 Criterios de selección de materiales para tapas de bebidas carbonatadas.

Si se toma la misma cuchara con la que se tomó helado al aire libre y se utiliza para disolver el azúcar en un café hirviendo, la cuchara se deformaría. En este caso el plástico se seleccionó correctamente para un servicio determinado y no tiene las propiedades requeridas para servicios más severos. (Doyle, 1998)

El ejemplo anterior muestra como un producto que ha sido diseñado para cumplir una determinada función está limitado para otras aplicaciones independientemente de que tan bien haya sido diseñado para su función original.

A continuación se mencionan algunas de las características que se identificaron durante la elaboración del presente trabajo y que son importantes para la elección de materiales de tapas de bebidas carbonatadas a fin de conservar sus características sensoriales que, como se mencionó en el capítulo 1, les otorga en gran parte el contenido de CO₂ disuelto en la bebida.

- **Compatibilidad entre el material de la tapa, liner y el contenido del envase.** En el caso de las bebidas carbonatadas se tiene que los componentes principales son los concentrados de frutas que en ocasiones contienen ácidos que pueden reaccionar con el material del envase y cierre, otro de los componentes son los saborizantes y sustancias volátiles los cuales pueden ser absorbidos por el material de cierre o envasado; en el caso del polipropileno existe una absorción de dichos componentes en un grado aceptable para materiales plásticos (*Arora, 1991*)
- **Aspecto.** Tal vez el consumidor sea el que mejor conozca el aspecto físico y la utilidad de un artículo, que abarca el diseño, el color, las propiedades ópticas y el acabado superficial. Los elementos de diseño y el aspecto agrupan varias propiedades a la vez. El color, la textura, la forma y el material puede hacer que un producto sea atractivo para el consumidor o no. (*Richardson, 1997*)
- **Esfuerzo de Tensión.** Provocado por la presión interna de CO₂, que como se mencionó puede llegar a ser de hasta 5 atmósferas en la parte superior del líquido. Por lo anterior es necesario realizar ensayos de tensión y elongación para el material a utilizar, esto en base a la presión interna que contendrá el envase de acuerdo al tipo de bebida que se trate (por lo general, las bebidas gaseosas de cola son la que contienen un mayor grado de carbonatación). Otra opción es utilizar las especificaciones de la ASTM para los materiales plásticos.
- **Permeabilidad al CO₂** Este es un factor importante en la selección del material de cierre, ya que al igual que el propio envase puede ocasionar deficiencia en la calidad del producto debido a la pérdida de CO₂. En la

fabricación de las tapas y liners para bebidas carbonatadas se usa con mayor frecuencia el polipropileno el cual presenta una barrera limitada en cuanto al paso de CO₂, sin embargo su aplicación ha sido justificada por sus propiedades mecánicas y su compatibilidad con el producto.

- **Pérdida de Torque.** Al seleccionar un material para liner se debe de considerar la dureza del mismo en relación con la presión de CO₂, ya que como se explicó, la pérdida de torque es un efecto de aplicación que no es posible evitar, debido a la naturaleza de los materiales plásticos que tienden a ceder, en promedio se estima que una tapa pierde hasta un 35 % del torque original pasados dos o tres días. *(Rodríguez. 1997)*
- **Condiciones ambientales.** Algunos plásticos se vuelven quebradizos a bajas temperaturas como en el caso del polipropileno, lo cual afecta el proceso de aplicación; en este caso si no es posible el almacenamiento de las tapas a temperatura controlada (por arriba de 18 °C), se recomienda utilizar otro material como el polietileno de alta densidad el cual es resistente a bajas temperaturas.

Aún y cuando en el lugar de envasado los materiales de cierre se hayan seleccionado adecuadamente, se deben de considerar los cambios en presión y temperatura a que el producto se deberá de someter en la distribución del mismo.

- **Impacto ambiental.** Actualmente se está considerando cada vez con mayor importancia el impacto al medio ambiente ocasionado por el uso indiscriminado de materiales plásticos, los cuales tienen un periodo de degradación demasiado largo. Por lo tanto, la tecnología de los materiales está enfocando de igual manera el desarrollo de polímeros biodegradables o reciclables para un mayor número de aplicaciones de las que presentan actualmente. En el caso de los materiales de cierre para las bebidas carbonatadas, los materiales usados son completamente reciclables, sin embargo, lo que ha dificultado este proceso es el costo y complejidad del mismo.

Una forma de ser ambientalmente amigables es la de producir envases y cierres con la menor cantidad posible de material. En este sentido se podrán elegir en el futuro entre una mayor cantidad de materiales, algunos de los cuales nos brinden las características que se requieren y a la vez reduzcan el impacto al medio ambiente.

- **Limitantes de diseño.** Al diseñar productos plásticos como las tapas, que como se ha mencionado varían en diseño de acuerdo a su aplicación, son importantes las consideraciones sobre la producción en relación al tipo de material seleccionado. Lo anterior surge a raíz de que muchos de los problemas asociados a la producción de artículos plásticos suelen exigir la selección de las técnicas de producción antes de pasar a considerar la producción. *(Richardson, 1997)*

Factores que se deben controlar en la selección de cierres y de sus materiales:

- Homogeneidad en el acabado de la botella. Como se mencionó en el presente trabajo los defectos en el terminado de la boca y de las cuerdas de la botella pueden ocasionar problemas de aplicación que nos van a provocar un cierre ineficiente y por lo tanto pérdidas de carbonatación y en algunos casos de producto y contaminación del mismo. Para controlar esta situación se debe contar en la embotelladora con estándares y realizar una comparación con determinada frecuencia contra los envases que se vayan a utilizar.
- Tipo de botella (ref pet o no retornable). Se mencionó también que el utilizar envases retornables constituye una situación de riesgo para la integridad del producto, ya que éste envase con el desgaste disminuye sus dimensiones originales, por lo que la altura varía entre un envase y otro, lo cual provoca que el torque de aplicación no sea igual para todos los envases. En este caso es menester del embotellador dar seguimiento al tiempo de vida medio de los envases retornables para evitar en lo posible estos problemas

- Manejo de la taparrosca. Se deben de seguir las instrucciones de manejo para la tapa por parte del fabricante, ya que como en cualquier otro producto la tapa está diseñada para realizar una función determinada. pero bajo ciertas "condiciones", las cuales no implican que el cierre tenga una calidad limitada, sino que fue diseñada para dar una función específica que no implica otras ajenas a esta función.
- Capacidad del envase. Para la selección de materiales de tapas o para el diseño mismo de la tapa se debe de considerar el volumen total del líquido a contener, ya que de esto depende el calibre del material a utilizar.

3.7 Perspectivas de materiales para la elaboración de tapas.

Actualmente la tecnología de materiales orienta sus esfuerzos hacia el desarrollo de materiales que permitan una mayor barrera a la transmisión de gases o materiales con barrera selectiva. (www.plastictechnology.com, 1997)

La mayoría de los polímeros usados en el envasado y los varios métodos adoptados para aumentar desempeño de barrera encuentran aplicaciones en envases flexibles y rígidos.

Las tecnologías utilizadas para mejorar las propiedades de barrera son:

- nuevos polímeros / desarrollo de copolímeros
- mezclas de polímeros / aleaciones
- aumento de cristalinidad / orientación molecular
- barrera química
- tratamiento de superficies

Desarrollo de nuevos materiales

El desarrollo de nuevos y recientes materiales puede ser agrupado en dos categorías:

1. Aquellos que se encuentran en uso comercial o bajo prueba a gran escala.
2. Aquellos que se encuentran en desarrollo y / o son sujetos de intereses potenciales para su desarrollo.

Desarrollos recientes en uso comercial incluyen:

- Etilen vinyl alcohol (EVA)
- Poliacrilonitrilo (PAN)
- Nylon MXD6 Nylon amorfo

En desarrollo y / o son sujetos de intereses potenciales para su desarrollo:

- Polivinil alcohol (PVOH)
- Polietilen Naftalato

El Polietilen Naftalato (PEN), es un material propuesto como alternativa para la producción de botellas de PET. El PEN ofrece una mejora en la barrera al oxígeno comparado con el PET y un alto módulo de tensión.

(Shires, 1993)

El PEN, superior al PET en muchas propiedades clave, tales como una baja proporción en la transmisión de vapor de agua, alta resistencia a la temperatura, alta resistencia al impacto, y barrera intrínseca a la luz UV, ha permanecido inactivo desde por lo menos los años cuarenta. Su aceptación ha sido impedida por su alto precio, principalmente por el bajo rendimiento del Dimetil Naftaleno proveniente del petróleo crudo, que es la materia prima del PEN.

En el caso de las tapas actualmente se desarrolla el *Elvax®* (etilen vinil acetato copolimero) propiedad de Dupont Company. Este polimero se está siendo probado para la elaboración de liners, cumple con todas las regulaciones de la FDA y permite un sellado a presión óptimo, aún a valores de torque de remoción bajos.

CONCLUSIONES

- Además del envase, el cierre es el elemento complementario que permite la conservación de las características de carbonatación de las bebidas gaseosas.
- En la selección de materiales de cierre para bebidas carbonatadas influyen además de las características del material como la permeabilidad al CO_2 , muchos otros factores que varían dependiendo de la tecnología que se utilice en el envasado – tapado, del área geográfica de la planta embotelladora y de los centros de distribución. Este es un punto que se deberá de controlar ya que el material que se seleccione por sí solo no puede garantizar la integridad del producto.
- El éxito de un polímero en una determinada aplicación se valora por el comportamiento de un componente en su forma final. Por lo tanto, la evaluación del comportamiento no se refiere, en principio, a la medida de las propiedades intrínsecas de un polímero dado, sino más bien, a determinar la forma en que éstas propiedades quedan modificadas por el método de fabricación, por las condiciones de transformación, por el diseño del componente y por las condiciones ambientales a que está sometido en servicio.
- El costo es otro de los factores que determinan tanto el tipo como la cantidad de material. Ya que por un lado no se pueden fabricar tapas sobrediseñadas, es decir, tapas moldeadas a partir de materiales que ofrecen resistencia a la tensión extremadamente alta, si se van a utilizar para bebidas de baja carbonatación, lo mismo ocurre para la cantidad de material utilizado. En este sentido los factores económicos están en concordancia con los factores ambientales, en los que se busca optimizar lo más posible la utilización de materiales plásticos para de esta forma disminuir la cantidad de desechos.

- Así como el costo del material es fundamental en la elección del mismo, de la misma forma lo es la maquinabilidad del mismo o la capacidad para su producción a gran escala; puede incluso, ser el primer paso a considerar en la elección de un material, sin embargo, puede que seleccionado de esta forma no se cubran todas las expectativas en la funcionalidad del producto, por lo que se deben de desarrollar conjuntamente con los nuevos materiales sus procesos de producción para obtener en realidad materiales novedosos y aplicables.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. L. Brody-K.S. Marshall, "Enciclopedia of Packaging Technology", edit. John Wiley and Sons, Inc., USA, 1997
2. Alcoa Closures International, "Manual de Aplicaciones y Especificaciones de Tapas", Alcoa C.S.I., USA., 1994.
3. Alcoa Closures International, "Aplicación de Tapa", Alcoa C.S.I., USA., 1999.
4. Alfa Editores Técnicos, S.A. de C.V., "¿Sabe ud. Lo que bebe el mexicano?", revista Bebidas Mexicanas, vol. 4 No. 5 Octubre – Noviembre, 1995.
5. Alimentación, Equipos y Tecnología, "Envase y Embalaje. Transporte de botellas a línea de llenado", POSIMAT, S.A., 1998
6. Arora, D.K., "Sorpton of Flavor Compounds by Polypropylene", American Chemical Society. USA. , 1991
7. Askeland, Donald R., "La Ciencia e Ingeniería de los Materiales", editorial Iberoamérica, Méx., 1987.
8. ASM, International, "Enginnering Plastics", 3ª edición, USA, 1998
9. BANCOMEXT, "Envase y Embalaje", serie de documentos técnicos, No. 7, Centro de Servicios al Comercio Exterior, Méx., 1996
10. Bodini, Gianni, "Moldeo y maquinas de inyección para la transformación de plásticos", Tomo I, Mc Graw-Hill., Méx., 1993
11. Brown, William E., " Plastics In Food, Propieties, Design and Fabrication", Marcel Decker Inc. USA. , 1992
12. Brenan, J.G., "Las Operaciones de la Ingeniería en Alimentos", 2ª edición, Editorial Acribia, Zaragoza (España), 1980.
13. Bureau G., J.L. Multon, "Food Packaging", Vol. 1 y 2, VCH publishers Inc., USA., 1996
14. Cedillo Sánchez, Javier, "Diplomado en Ingeniería y Diseño de Envase y Embalaje, Tapas, Liners y Cierres", packing, editorial, México, 1998.

15. Centro de Desarrollo del Sistema Coca-Cola, A.C., "Elaboración de jarabes", Méx., 2000
16. Centro de Desarrollo del Sistema Coca-Cola, A.C., "Tratamiento de agua", Méx., 1999
17. Coca Cola FEMSA, "Teoría de Aplicación de Tapa Plástica", Dirección de Proyectos, 1999
18. CPM, Comisión Petroquímica Mexicana, "Plásticos de ingeniería", Méx., 1988
19. Desroiser, W., Norman, "Elementos de Tecnología de Alimentos", 11ª edición, editorial Continental, S.A. de C.V., México, 1996
20. Doyle, Lawrence, E., "Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros", editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. de C.V. Méx., 1998
21. European Aluminium Foil Association, "New Packing – New food quality?", No. 4, Germany, published by M. Rüter, München, 1994
22. Fellows, Peter, "Tecnología del Procesado de los Alimentos, Principios y Prácticas", editorial Acribia, S.A., Zaragoza (España), 1994
23. FMR, "Limpieza y Desinfección de Equipos de Proceso", F.M.-Representaciones, S.A. de C.V., 1998
24. Hanlon F. Joseph, "Handbook of Package Engineering", Mc. Graw-Hill 1975
25. H.C. Industrias de México, "Moldeo de Tapas", Depto Ingeniería de Calidad, H-C. Industrias de México, S.A. de C.V., Marzo 1996.
26. INOPACK, "Proceso de Fabricación de Taparrosca", INOPACK, S.A. DE C.V., 1998
27. Instituto Mexicano del Plástico Industrial, S.C., "Estadísticas de la Industria del Plástico", 1ª edición, Méx., D.F., 1997
28. Instituto Mexicano del Plástico Industrial, "Enciclopedia del Plástico", 1ª edición, Méx., D.F., 1997

29. Instituto Mexicano del Envase y Embalaje, "Tapas, liners y cierres", revista Ingeniería y Diseño de Envase y Embalaje". Instituto Mexicano del Envase y Embalaje, Méx., D.F. año 2, No. 1, Enero 2001
30. Instituto Mexicano del Envase y Embalaje, "Tapas liners y cierres", revista Ingeniería y Diseño de Envase y Embalaje, Instituto Mexicano del Envase y Embalaje, Méx., D.F. , año 2, No. 2, Mayo 2001
31. James E., Mark, "Polymer Data Handbook", Oxford University, Press. Inc., USA, 1999
32. Jenckins Wilmer, A. "Packaging Foods With Plastics", Technomic publishing, USA, 1991
33. Jones-Morton, D.H., "Procesamiento de plásticos", Limusa Noriega editores, México, 1999
34. Kühne Günther, "Envases y Embalajes de Plástico", editorial Gustavo Gili, S.A, Barcelona, España, 1976
35. Lozano Rodríguez, Ricardo, "Recuperación de agua en una máquina lavadora de botellas", tesis UNAM, México, D.F., 1974.
36. Microsoft Corporation, "Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001". © 1993-2000.
37. Mc Farlene, I. "La Automatización de la Fabricación de Alimentos y Bebidas", 1ª edición, A. Madrid Vicente, ediciones, España, 1997
38. Ogorkiewicz, R.M., "Termoplásticos: Influencia de los procesos de transformación en sus propiedades", editado por Instituto de Plásticos y Caucho, Madrid, 1969.
39. Paine, Frank A., "Modern Procesing, Packing and Distribution Systems of Food", Blockie Glasgow and London, USA, 1987
40. Potter, Norman A., "La Ciencia de los Alimentos", editorial Acribia, Zaragoza (España), 5ª edición, 1995.
41. Richardson and Lokensgard, "Industria del Plástico, Plástico Industrial", editorial Paraninfo, España, 1997
42. Rodríguez Tarango, José Antonio, "Manual de Ingeniería y Diseño del Envase y Embalaje para la industria de los alimentos, química,

- farmacéutica y de cosméticos", Tercera edición packaging Ingeniería de Envase y Embalaje, Méx., D.F., 1997
43. Simms, W., "The Packing Enciclopedia", USA., 1982
44. Shires David, "Developments in barrier technology", Pira International, England., 1993
45. Van Vlack, Lawrence H, "Tecnología de Materiales", ediciones Alfaomega, S.A. de C.V., Méx., 1991
46. Vidales Giovanetti, Ma. Dolores, "El mundo del envase"; Manual para el diseño y la producción de envases y embalajes; editorial Gustavo Gili, S.A., 2ª edición, Barcelona, España, 1997
47. www.plastictechnology.com, "Keeping-Up with Materials", 1997
48. www.findarticles.com, "DuPont Packaging and Teknor Apex Announce Strategic Alliance in Food and Cap Liner Compounds", Oct. 2000