



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

"ENVASE Y EMBALAJE DE ALIMENTOS: PRUEBAS FISICAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECANICAS DE ENVASES DE PET, EN BEBIDAS CARBONATADAS"

TRABAJO DE SEMINARIO QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS PRESENTA: FABIAN LICONA ESTEVEZ

ASESOR: DR. JOSE LUIS ARJONA ROMAN

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2002

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



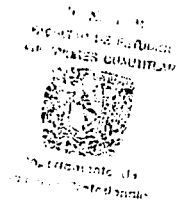
UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES 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: Pruebas Físicas para Determinar las Propiedades

Mecánicas de Envases de PET, en Bebidas Carbonatadas.

que presenta el pasante: Fabián Licón Estévez

con número de cuenta: 9555885-3 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 29 de Junio de 2001

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>Dr. José Luis Arjona Román</u>	<u>[Firma]</u>
<u>I</u>	<u>M. en C. María de la Luz Zambrano Zaragoza</u>	<u>[Firma]</u>
<u>IV</u>	<u>L. C. G. Héctor Miranda Martinelli</u>	<u>[Firma]</u>

ÍNDICE TEMÁTICO.

	PAGINA
RESUMEN.	1
INTRODUCCIÓN.	2
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	4
JUSTIFICACIÓN.	4
OBJETIVO GENERAL.	5
OBJETIVOS PARTICULARES.	5
CAPITULO 1: GENERALIDADES.	
1.1. Procesamiento de Bebidas Carbonatadas.	6
1.1.1. Preparación de jarabe.	7
1.1.2. Tratamiento de agua.	8
1.1.3. Carbonatación.	8
1.1.4. Lavado de botellas.	9
1.1.5. Sistema de llenado de bebidas carbonatadas.	10
1.1.5.1. Operación de la válvula de llenado.	11
1.1.6. Materiales para envases de bebidas carbonatadas.	16
1.1.7. Tapas inviolables de plástico.	18

1.2. Sistemas de Fabricación de Botellas.	19
1.2.1. Sistema integrado o de una etapa.	21
1.2.2. Sistema de dos etapas.	22
1.2.2.1. Fabricación de Preformas.	23
1.2.2.2. Fabricación de Botellas por Soplado.	29

CAPITULO 2: METODOLOGÍA.

2.1. Descripción del Cuadro Metodologico.	35
2.2. Cuadro Metodologico.	37

CAPITULO 3: SITUACIÓN TECNOLÓGICA .

3.1. Pruebas Mecánicas Aplicadas a Envases de PET.	38
3.2.1. Resistencia a la compresión (Top Load).	39
3.2.2. Resistencia a la ruptura.	42
3.2.3. Estabilidad de volumen.	43
3.3. Pruebas de simulación de transporte.	44
3.3.1. Plano inclinado.	44
3.3.2. Prueba de compresión.	45
3.3.3. Prueba de vibración.	46

3.4. Perspectivas tecnológicas.	47
3.4.1. Criterios para el diseño estructural de botellas de PET para bebidas carbonatadas.	47
3.4.2. Impacto ambiental generado por desechos de PET.	51
CONCLUSIONES.	56
BIBLIOGRAFÍA.	58

ÍNDICE DE FIGURAS.

	PAGINA
Figura No. 1.- Sistema de llenado de bebidas carbonatadas.	11
Figura No. 2.- Cabezal neumático.	14
Figura No. 3.- Cerradoras de tipo lineal y rotatorio.	15
Figura No. 4.- Tapas inviolables de plástico.	18
Figura No. 5.- Forma típica de una preforma.	21
Figura No. 6.- Componentes de la maquina de inyección.	26
Figura No. 7.- Moldeo por estirado/soplo.	34
Figura No. 8.- Maquina de compresión.	40
Figura No. 9.- Prueba de plano inclinado.	44
Figura No. 10.- Prueba de compresión para embalaje.	45
Figura No. 11.- Simulador de vibración.	46
Figura No. 12.- Angulos aceptables en el diseño estructural de botellas.	48
Figura No. 13.- Área de etiquetado.	49
Figura No. 14.- Botella típica de bebidas sin gas.	50

ÍNDICE DE CUADROS.

	PAGINA
Cuadro No. 1.- Mejoras en las propiedades físicas y de barrera en el PET, cuando se aplica la orientación.	30
Cuadro No. 2.- Estudio calorimétrico de PET virgen y reciclado, durante el moldeo por inyección.	52
Cuadro No. 3.- Viscosidad intrínseca y peso molecular promedio de PET virgen y reciclado, antes y después del moldeo por inyección.	53
Cuadro No. 4.- Propiedades mecánicas de PET reciclado y virgen moldeado por inyección.	54

RESUMEN.

El polietilentereftalato, mejor conocido como PET, es un material que tiene un conjunto de propiedades que lo hacen particularmente útil en la fabricación de envases para bebidas carbonatadas.

Una de sus características es que según el espacio en que se acomoden sus moléculas se puede obtener un material cuya transparencia se asemeja a la del vidrio. Además de esto presenta baja permeabilidad a los gases y propiedades mecánicas como: resistencia al impacto y a la compresión.

El diseño estructural y control de proceso durante la fabricación de envases de PET, son importantes para el desarrollo óptimo de sus propiedades tanto de barrera como mecánicas.

Durante la elaboración de bebidas carbonatadas, los envases de PET están sujetos a diversos esfuerzos mecánicos, por lo que se hace necesaria la aplicación de pruebas que permitan visualizar el comportamiento que pudieran tener estos envases.

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo, tiene como finalidad seleccionar las pruebas mecánicas aplicables a envases de PET, durante el proceso de llenado de bebidas carbonatadas.

Para cumplir con este objetivo la presente investigación contempla en su primer capítulo la descripción del proceso de elaboración de bebidas carbonatadas, en este apartado se hace especial énfasis en la etapa de llenado, ya que es en esta donde se desarrolla la investigación. Aquí se explica el principio de funcionamiento del sistema de llenado y la forma en que opera la válvula de llenado. Se abarcan también de forma general los diferentes materiales utilizados para el envasado de bebidas carbonatadas y un elemento importante en el envasado de dichas bebidas como son las tapas.

La segunda parte de este capítulo contempla los dos procesos existentes para la fabricación de envases de PET: sistema de una etapa y sistema de dos etapas; este último es el comúnmente empleado para la obtención de envases para bebidas carbonatadas por lo que aquí se detallan cada una de sus etapas.

En el segundo capítulo se presenta la metodología seguida para dar respuesta al objetivo planteado inicialmente.

En el tercer y ultimo capitulo se describen las pruebas físicas que a juicio personal son aplicables a envases de PET, durante la fase de llenado de bebidas carbonatadas. De manera complementaria se presentan las pruebas utilizadas para la simulación de transporte.

Por ultimo se trata de destacar la importancia que tiene el diseño estructural de botellas de PET en el desarrollo de sus propiedades mecánicas; así como también el impacto ambiental que generan los desechos de PET.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

La presente investigación tiene como objeto seleccionar las pruebas empleadas para determinar las propiedades mecánicas de envases de PET, durante el procesamiento de bebidas carbonatadas.

JUSTIFICACIÓN.

Para verificar que los envases de PET son capaces de soportar los esfuerzos mecánicos a los que son sometidos durante el procesamiento de bebidas carbonatadas; se hace necesario realizar pruebas a nivel laboratorio que garanticen el buen funcionamiento de dichos envases.

OBJETIVO GENERAL.-

Seleccionar las pruebas aplicables para la determinación de las propiedades mecánicas de envases de PET, mediante el análisis del proceso de elaboración de bebidas carbonatadas.

OBJETIVO PARTICULAR 1.-

Analizar el proceso de elaboración de bebidas carbonatadas, para identificar los esfuerzos mecánicos a los que están sometidos los envases de PET durante la fase de llenado y transporte del producto terminado.

OBJETIVO PARTICULAR 2.-

Analizar el sistema de fabricación de envases de PET, para comprender la manera en que se desarrollan sus propiedades mecánicas.

1. GENERALIDADES.-

1.1. Procesamiento de bebidas carbonatadas.

"El origen de las bebidas carbonatadas se remonta a las épocas griega y romana, cuando las aguas minerales naturales eran premiadas por sus cualidades refrescantes y "medicinales". Pero no fue hasta 1767, fecha en la que el químico británico Joseph Priesley descubrió que se podía carbonatar el agua artificialmente, cuando dio comienzo la industria de las bebidas carbónicas. Un primer método de obtener el dióxido de carbono fue la acidificación del bicarbonato sódico o del carbonato sódico, y del uso de estas sales sódicas procede el nombre de "soda", que continúa utilizándose hoy en día, aunque la mayor parte del dióxido de carbono no se genera ya de esta manera. Gradualmente, se fueron añadiendo zumos y extractos de fruta al agua carbonatada para mejorar su aroma". (*Potter, Ciencia de los Alimentos, pag.481-482*)

"La elaboración de refrescos es un proceso mecánico complejo que requiere de maquinaria especial que trabaja a la mayor velocidad posible. Hace menos de 20 años las líneas de embotellado trabajaban aproximadamente con un rendimiento de 150 botellas por minuto. Las líneas de producción actuales son capaces de elaborar 2000 ó más unidades por minuto.

La planta prototipo para fabricación de refrescos sigue las siguientes fases de producción: preparación de jarabe, tratamiento de agua, carbonatación, lavado de botellas (cuando estas son retornables) y llenado de los envases.

1.1.1. Preparación de jarabe.

El jarabe simple se mantiene disolviendo azúcar de alta calidad en agua purificada. El jarabe contiene de 600 a 750 g de azúcar por litro dependiendo de la densidad que se desee. A este jarabe simple se le agregan sustancias para dar sabor. Pueden ser sabores naturales o artificiales o bien extractos de sabores de ciertas raíces, cortezas, hiervas o frutos. También pueden adicionarse ácidos comestibles para que la mezcla de sabores sea más agradable, y colorante para dar un aspecto más atractivo al refresco".
(Desrosier, *Elementos de Tecnología de Alimentos*, pag. 667)

"En la actualidad la sacarosa se sustituye cada vez más por azúcares de maíz ricos en fructosa, que son más dulces y, por tanto más baratos para un mismo dulzor. El azúcar no sólo proporciona a la bebida dulzor y calorías, sino que también añade cuerpo y cierta sensación de boca. Por esta razón, cuando se elaboran bebidas dietéticas con un edulcorante bajo en calorías que sustituye parcialmente al azúcar, a veces se añade también un agente, como la carboximetilcelulosa o una pectina, que den la misma sensación de boca que el producto elaborado con azúcar". (Potter, *Ciencia de los Alimentos*, pag. 483)

1.1.2. Tratamiento de agua.

El agua es el principal ingrediente de bebidas refrescantes carbonatadas, ya que supone el 92% del volumen. Es esencial que el agua sea tan químicamente pura como sea posible comercialmente, ya que las tazas de impurezas reaccionan con otros constituyentes de la bebida. A este respecto, el agua de abastecimiento público, aunque satisfactoria desde un punto de vista bacteriológico, generalmente no es pura desde un punto de vista químico para su uso en bebidas refrescantes.

"Para que el agua cumpla con unas normas tan estrictas, las plantas de embotellado generalmente la adicionan sometiéndola a tratamientos adicionales, como precipitación química de minerales, desionización, adición de carbón activo para separar olores, sabores y cloro residual, filtración final por papel para eliminar las trazas que pueden atravesar el filtro de carbón y desaireación para retirar el oxígeno". (*Potter, Ciencia de los Alimentos, pag. 485*)

1.1.3. Carbonatación.

"La carbonatación correcta del refresco es muy importante por el sabor picante que le da y por el efecto benéfico que tiene sobre el sistema digestivo. La carbonatación se define como la disolución de dióxido de carbono gaseoso en agua. El agua absorbe más gas a medida que su temperatura disminuye y la presión aumenta. El gas se envía a la instalación de refrescos en forma líquida

en recipientes a presión, cuando la válvula de control se abre, el bióxido de carbono cambia al estado gaseoso y viaja a través de un tubo metálico que lo conecta a un dispositivo conocido como carbonatador. El agua y el jarabe de sabor se combinan y se introduce al carbonatador donde se le expone al gas que se absorbe a una velocidad controlada. Después de que la bebida se carbonata, el agua para bajo presión a la máquina llenadora, de manera que el dióxido de carbono se retenga mientras se llena la botella o la lata. Los refrescos pueden carbonatarse entre 1 y 5 volúmenes cuando están embotellados.

1.1.4. Lavado de botellas.

Las botellas retornables deben limpiarse perfectamente y desinfectarse antes de volver a llenarse. Las botellas se lavan remojándolas o lavándolas a presión con la solución de sosa cáustica seguida por un cepillado perfecto por dentro y por fuera. Después se enjuagan cuidadosamente con agua potable antes de llenarlas". (*Desrosier, Elementos de Tecnología de Alimentos, pag. 668*)

Las condiciones mínimas recomendadas para la limpieza y esterilización perfecta de las botellas son las siguientes: (a) La solución debe contener 3% de álcali total y no menos de 60% debe corresponder a sosa cáustica; (b) las botellas deben sumergirse no menos de 5min. en la solución limpiadora y esterilizante, y (c) la temperatura mínima de la solución de lavado debe de ser de 54 °C.

1.1.5. Sistema de llenado de bebidas carbonatadas.

"El sistema de llenado para líquidos carbonatados, como cerveza y refrescos, difiere de otros sistemas de llenado ya que este es realizado bajo presión. Las bebidas carbonatadas tienden a espumar y requieren un llenado que asegure la retención del nivel de carbonatación requerido para diferentes tamaños de latas y botellas. Es indispensable prevenir que el líquido carbonatado espume en exceso, ya que esto produciría un llenado ineficiente así como un mal cerrado de la botella". (*Bakker, The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology, pag. 300*)

Estas llenadoras basan su funcionamiento en la igualación de presión positiva en el tazón al interior del envase para permitir el flujo del producto libremente.

La máquina 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; un sistema que controla la alimentación 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.

"La mezcla de concentrados debidamente hidratados o bien integrados es enviado hasta un tanque cerrado que inicia automáticamente un proceso de inclusión de gas carbónico hasta un nivel standard que por lo regular es de 2.5 hasta 4 volúmenes de gas por unidad de líquido, así mismo, la mezcla es

enfriada y enviada hasta el tazón de la llenadora que distribuye el producto a través de un sistema o red de tubos que se conectan hasta las válvulas que llenan los envases plásticos, de vidrio o metálicos a baja temperatura (2°C) para evitar la formación excesiva de espuma". (*Dagda, Sistemas de Llenado para Alimentos Líquidos y Bebidas, pag. 8*)

El tazón controla la presión del líquido contenido dentro de él, esta presión es mas baja que la que el sistema que lo alimenta. De esta manera, el suministro continuo del producto está seguro, con la menor cantidad de turbulencia. El nivel dentro del tazón es mantenido por un flotador u otro dispositivo similar.

En la figura No. 1, se representa el sistema de llenado para bebidas carbonatadas, donde destacan el tazón contenedor de líquido, el flotador que mantiene el nivel de este líquido y la válvula de llenado.



Figura No. 1.- Sistema de llenado para bebidas carbonatadas.

The Packaging Encyclopedia, 1982.

1.1.5.1. Operación de la válvula de llenado.

La operación de llenado se efectúa por medio de las válvulas llenadoras. A través de ellas el líquido contenido en el tazón desciende e ingresa a las botellas; el descenso se produce por la acción de la gravedad, y la velocidad depende de la altura del equipo en el tazón.

Las válvulas de las llenadoras son de diseño sencillo, algunas de acero inoxidable y otras construidas de plásticos totalmente sanitarios. En el diseño de válvulas de llenado, casi todos los fabricantes emplean el mismo principio, con alguna variación en la interpretación mecánica de los conceptos. Para entender el funcionamiento de la válvula, es necesario hacer un seguimiento a las diferentes fases de llenado descritas a continuación:

"En la primer fase el envase se acopla a la válvula de llenado para asegurar una intimidad completa entre ambas superficies. Esto es controlado por un sistema de presión neumático que sostiene el envase firmemente contra la válvula, no obstante es lo bastante delicado para evitar que se aplasten las latas o botellas de plástico.

El recipiente gira con la válvula de llenado, y un viaje mecánico acciona la válvula para permitir el paso de CO_2 de la parte superior del tazón (sobre el nivel 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". (*Bakker, The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology, pag. 300*)

La válvula de llenado es un asiento que controla el flujo del líquido a la botella, este asiento se mantiene cerrado por el líquido y la presión en el tazón. Cuando la contrapresión ha sido establecida, comienza la segunda fase, donde el asiento se levanta por el resorte de la válvula del líquido y permite 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 esencial que el CO₂ en el recipiente sea removido. Esto se logra a través del un tubo del venteo.

Durante la tercer fase; conforme el nivel del líquido sobrepasa el orificio del tubo de venteo, el líquido obstruye el flujo del CO₂ de la contrapresión haciéndolo regresar al tazón a través de este orificio. La presión del CO₂ en el espacio superior de la botella ahora es ligeramente mayor que la del tanque causando que el resorte cierre automáticamente la válvula y deteniendo así el flujo del líquido.

En la última fase; poco después de que la botella se ha llenado, la llave de aleta o mariposa que opera la válvula es llevada a la posición cerrada. Este movimiento es ejecutado por el tope de cierre, este tope de cierre esta montado sobre un apoyo en forma circular cuyo centro coincide con el tanque, la posición de cierre puede variar con la botella, la aleta actúa sobre la válvula de venteo y la del líquido cerrándolas.

La válvula de alivio es la que provoca el desahogo del gas contenido en la parte superior de la botella haciéndolo escapar al exterior de la válvula. Una vez liberada esa presión a lo largo de la pista de alivio, el pistón elevador desciende y el envase es transferido a la sección donde cierra.

Cuando la botella entra a la sección de taponado, esta es posicionada en un cabezal neumático provisto de un anillo flexible (ver figura No. 2). El anillo sujeta la taparosca y comienza a girar hasta enroscar la botella. La presión aplicada es generalmente de 10 a 15 torques; cuando la botella ha sido cerrada el cabezal la baja para seguir su paso por la línea.

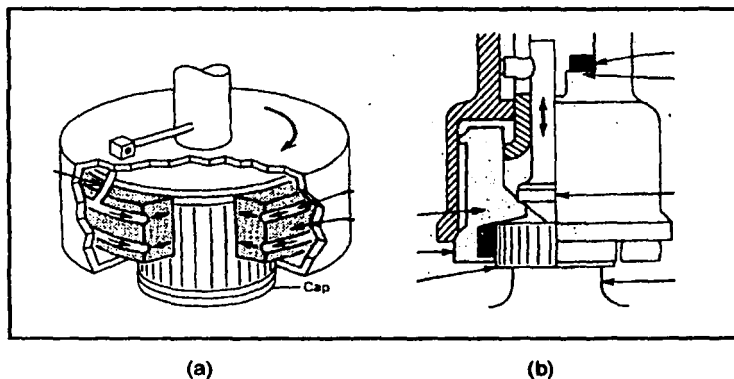


Figura No. 2.- Cabezal neumático; (a) anillo sujetador, (b) cerrado de botella.

Bakker, 1986.

Las maquinas de cerrado pueden ser de tipo lineal o rotatorio, como las representadas en la figura No. 3, aunque en la actualidad son de tipo rotatorio y su velocidad esta limitada al número de cabezales.

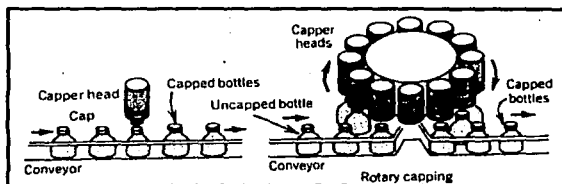


Figura No. 3.- Cerradoras de tipo lineal y rotatorio.

Bakker, 1986.

"Las llenadoras de productos carbonatados son sin duda alguna las mas veloces en el mercado y se fabrican hasta de 160 válvulas y diámetros de más de 4 mts. pudiendo alcanzar velocidades de mas de 2,000 envases por minuto en el caso de cerveza o refrescos en botes de aluminio. Su construcción es siempre en configuración circular aunque su origen fue lineal cuando los volúmenes de producción no requerían de las velocidades actuales". (Dagda, *Sistemas de Llenado para Alimentos Liquidos y Bebidas*, pag. 9)

1.1.6. Materiales para envases de bebidas carbonatadas.

1.1.6.1. Vidrio.

“Durante muchos años el vidrio ha sido el material más ampliamente usado en la producción de botellas para la industria de bebidas carbonatadas. A la par de la industria del refresco se fue desarrollando la industria de envases de vidrio en primer término con la innovación de diferentes tipos de envases y tapas para estos. Las primeras empresas comenzaban comprando los envases, pero poco a poco se vio la necesidad de ser también fabricantes del material.

El costo de un recipiente de vidrio guarda estrecha relación con el peso del vidrio y el costo de las botellas de vidrio se ha ido rebajando progresivamente reduciendo su peso. El proceso de aligerar el peso a considerado cuidadosamente el diseño de la botella logrando eliminar rincones y bordes agudos internos y externos y la redistribución del vidrio para minimizar el riesgo de rotura. El proceso ha dado origen por tanto a botellas más resistentes y de menor costo”. (*Ranken, Manual de Industrias de los Alimentos, pag. 289*)

Por una u otra razón tanto económica, como practicidad y de facilidad en la distribución del líquido, los envases de vidrio para refresco tienden a desaparecer del mercado, gracias a la innovación de latas de aluminio y el plástico PET.

1.1.6.2. Aluminio.

"El aluminio dio un gran empuje a muchas productoras de envases, pero no sólo por que era lo más nuevo del mercado. Este material tiene grandes virtudes, como la facilidad para la distribución y la posibilidad de mantener el líquido más frío y con mayor rapidez, es de fácil manejo en el llenado y otra de sus grandes virtudes es el poder de reciclado, ya que es cien por ciento reciclable. Además, por su ligereza es fácil de transportar, por lo que disminuye el costo de flete.

1.1.6.3. PET.

En los últimos años se ha producido una revolución en el envasado de bebidas carbonatadas debido a la introducción de botellas PET de diversos tamaños. Las botellas de PET no imparten sabores desagradables a los productos, tienen la transparencia del vidrio, muy poco peso y son virtualmente irrompibles.

El PET es distribuido de manera menos pesada y ahorra gasto de transportación. Es además, un material que puede ser reciclado o como envases retornables regresar a las empresas". (*Vieyra, Materiales para Envases de Refresco, pag. 23-24*)

1.1.7. Tapas inviolables de plástico.

Un elemento importante en el envasado de líquidos carbonatados es la tapa. Las tapas inviolables de plástico, son fabricadas de polipropileno y polietileno baja y alta densidad. La taparosca esta provista de un anillo de seguridad en la parte inferior, para eliminar este sistema de inviolabilidad basta con abrir la tapa. Existen básicamente dos tipos de sistemas, de anclaje y engranaje (ver figura No. 4), en ambos casos la tapa esta provista de un liner cuya función principal es lograr el sello y prevenir fugas de producto. (Rodríguez, *Introducción a la Ingeniería de Empaques*, pag.)

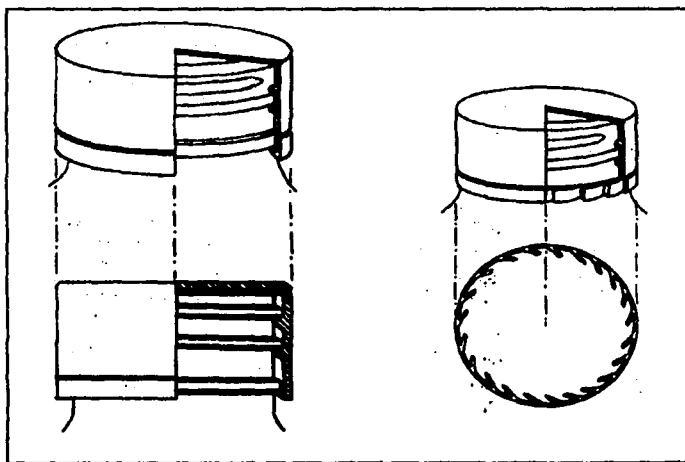


Figura No. 4.- Tapas inviolables de plástico; (a) anclaje y (b) engranaje.

Rodríguez, 1990.

1.2. Sistemas de Fabricación de Botellas de PET.

“El descubrimiento del Polietilentereftalato, mejor conocido como PET fue patentado como un polímero para fibra por J.R. Whinfield y J.T. Dickson en 1941 y comercializada por primera vez en 1953, el PET fue inicialmente usado en los mercados textiles y fibras. En los años 70's y 80's se extendió su aplicación a botellas y en los 90's laminación de películas para empaques. La primer patente sobre el PET la obtuvo Du Pont y Pepsi-Cola Co. hicieron la primer prueba de mercado del uso de botellas PET en bebidas carbonatadas. El primer lanzamiento comercial de una botella de PET con bebidas carbonatadas fue en 1977 por Pepsi-Cola Co. USA. Fue una botella de dos litros, con un volumen de ventas de dos millones de envases en un año.

El PET es un polímero con una única combinación de propiedades que lo hacen muy apropiado para el empaque, en particular de bebidas carbonatadas. Excelente brillo y calidad, dureza y resistencia al impacto, resistencia química, baja permeabilidad a los gases, adecuada procesabilidad y buena estabilidad dimensional. Esta acumulación de propiedades son debido principalmente a la habilidad de agregar a las moléculas de PET en una orientación biaxial .

El PET es un material que puede ser orientado biaxialmente (estirado en dos direcciones al mismo tiempo) con una mayor fuerza y una mejora en la barrera.

Esto origina la pared de una botella con un sistema de capa sobre capa de PET, teniendo cada capa una orientación en dirección diferente.

Esto plantea dos ventajas:

1. Una botella con pared lo suficientemente resistente para almacenar bebidas carbonatadas.
2. Propiedades de barrera mejoradas, estas estructuras de capas permiten solo diminutos orificios por los cuales una pequeña cantidad de CO₂ puede escapar". (*Procesos Plásticos S.A., Manual Técnico de Preforma, pag. 1-2*)

"Además de su expansión en un amplia gama de películas, el PET recientemente ha expresado un significativo progreso en el campo de las aplicaciones como material para la fabricación de botellas y envases en los que se manejan gran variedad de productos como bebidas carbonatadas, licores, cervezas, sidras, etc.". (*Celanese Mexicana S.A., Boletín Técnico, pag. 2*)

El proceso de fabricación de botellas implica la producción de una preforma, la cual tiene un tamaño reducido, pero contiene la cantidad necesaria de material que la botella de PET finalmente tendrá. La preforma tiene una forma típica, similar a un tubo de ensaye, como la mostrada en la figura No. 5.



Figura No. 5.- Forma típica de una preforma.

Rodríguez, 1990.

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

1.2.1. Sistema integrado o de una etapa.

En este sistema, el molde de la preforma y el soplado de la misma, se realiza en una sola maquina; es decir, los procesos de inyección y de soplado están integrados en una misma unidad, por lo que no es necesario sacar las preformas de la máquina para que puedan ser sopladas y llevarse a su forma y tamaño definitivo. (*Vaca, Resina PET, pag. 38*)

Este sistema presenta las siguientes ventajas:

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

multicapas".(Rodríguez, *Diplomado de Ingeniería y Diseño de Envases y Embalajes*, pag. 108)

1.2.2. Sistema de dos etapas.

"En este sistema, la primera etapa consiste en fabricar la preforma en un equipo de inyección el cual deberá tener ciertas características especiales para que se pueda procesar la resina y obtener un rendimiento óptimo en cuanto a sus propiedades físicas y de transparencia.

La segunda etapa del proceso, consiste en calentar las preformas hasta una temperatura tal que puedan llegar a transformarse en botellas por medio del estirado-soplado en un equipo de alta productividad que normalmente se encuentra instalado en las plantas embotelladoras". (*Celanese Mexicana S.A., Boletín Técnico*, pag. 3)

Este sistema presenta las siguientes ventajas:

1. "Es adecuado para grandes producciones, más de 30 MM. de botellas al año.
2. Permite centralizar la producción de preformas para suministrarlas posteriormente a las plantas de soplado.
3. Las maquinas para el soplado de botellas pueden ser adquiridas por separado, lo que permite:
 - a) Adquisición de preformas, evitando así las dificultades técnicas de la fase de producción de las mismas.

b) Ideal para la producción múltiple en las plantas empleando un centro productor de preformas". (Rodríguez, *Diplomado de Ingeniería y Diseño de Envases y Embalajes*, pag. 107)

Este sistema es el más empleado en la fabricación de botellas, a continuación se describen de manera mas detallada, las dos etapas seguidas para la fabricación de botellas.

1.2.2.1. Fabricación de Preformas.

Las operaciones más importantes de esta etapa son: el secado, la plastificación, la inyección y el enfriamiento.

a) Secado (Preparación de PET).-

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

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

Muchos secadores operan con flujos de aire de 1 pie / min. para 1 lb/hr. de chip inyectado como requerimiento mínimo. El aire empleado debe tener una temperatura que no exceda de 180 ° C y un punto de rocío no mayor de -30 ° C.

b) Plastificación.-

La fusión del polímero se lleva a cabo en un husillo convencional, cuya relación de compresión es de 3:1. En las maquinas de inyección la fusión del polímero se alcanza manteniendo temperaturas de 285 a 295 °C.

La temperatura de plastificación del PET es aproximadamente de 250 °C, mientras mas baja sea esta temperatura más claras son las preformas que se pueden inyectar.

c) Inyección.-

La inyección del material se hace dentro de las cavidades del molde que normalmente es de colada caliente , aunque los de colada convencional también pueden encontrar alguna aplicación. Los ciclos de inyección con que trabajan van desde 21 hasta 25 segundos.

Para el llenado del molde se recomienda la mínima presión de inyección. Una presión de inyección muy alta puede generar una deflección en los corazones del molde, lo que origina excentricidad y diferencia en los espesores de las paredes de la preforma.

Normalmente el 90% del tiro se realiza bajo la presión de inyección (primaria), mientras que el 10% restante se realiza bajo presión de sostenimiento (secundaria o menor). Si la presión de sostenimiento es muy alta provoca aperlamiento en el área cercana al punto de inyección.

d) Enfriamiento.-

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

El PET se cristaliza mas rápidamente entre 150 y 190 °C, por lo que el enfriamiento debe ocurrir de tal forma que la preforma permanezca en este rango de temperatura el menor tiempo posible.

El enfriamiento se realiza en dos etapas: inicialmente se tiene un enfriamiento rápido dentro del molde, y posteriormente las preformas son transferidas a un brazo mecánico donde se terminan de enfriar. El proceso de enfriado tiene que ser rápido para obtener piezas transparentes. El motivo por el cual se integra un brazo mecánico es para disminuir el tiempo de inyección e incrementar la eficiencia del proceso". (*Procesos Plásticos S.A., Manual Técnico de Preforma, pag. 25-33*)

En la figura No. 6 se muestran los elementos de la unidad inyectora, dentro de la cual se llevan a cabo las etapas de plastificación, inyección y enfriamiento.

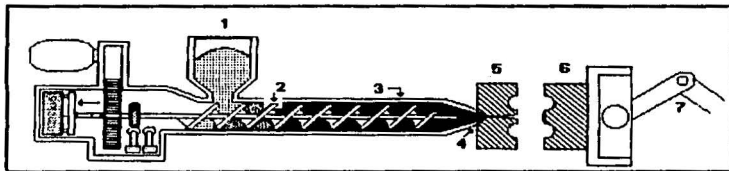


Figura No. 6.- Componentes de la maquina de inyección.

Rodríguez, 1990.

e) Control del Proceso.-

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

1.- Retención de la Viscosidad Intrínseca.

"La viscosidad intrínseca es una medida indirecta del peso molecular, o sea, del tamaño promedio de las moléculas que definen al polímero. La viscosidad intrínseca de la resina de uso general es de 0.81dl/g que corresponde aproximadamente a 125 unidades repetidas por molécula y un peso aproximado de 24,000 g/mol. Cualquier disminución en la viscosidad del polímero en su paso de granulado a preforma, significará una reducción del peso molecular. Bajo condiciones controladas de secado y moldeo, la pérdida de viscosidad no

deberá ser mayor de 0.03 dl/g. Cualquier pérdida superior a este nivel trae como consecuencia un detrimento en la transparencia de la preforma debido aun incremento en la velocidad de cristalización

La perdida de la viscosidad intrínseca se debe básicamente a una degradación hidrolítica ocurrida durante el estado de fusión, que es donde el agua a niveles inferiores de 40 ppm tiene una acción destructiva del polímero. Una segunda causa de la caída de la viscosidad intrínseca, es la degradación térmica durante la fusión de polímero para inyectarlo, de ahí que se deba emplear un perfil de temperaturas de molde y velocidad de corte lo mas bajas posibles, que permitan la obtención de preformas claras, transparentes y libres de distorsión.

b) La viscosidad intrínseca se controla con un secado correcto previo a la inyección. La humedad residual en el granulado del polímero causa una caída de viscosidad durante el proceso de inyección, dando como consecuencia una disminución en la propiedades físicas tales como propiedades de barrera, resistencia a la carga, resistencia térmica o incremento de diámetro de la botella en el producto final". (Rodríguez, *Diplomado de Ingeniería y Diseño de Envases y Embalajes*, pag. 132)

2.- Generación de Acetaldehído.

"El acetaldehído se genera en pequeñas cantidades durante el proceso de fusión de PET; como efecto de la degradación térmica de las moléculas, por lo que tiene una relación directa con la historia térmica del polímero.

Debido a la facilidad que tiene el acetaldehído de emigrar desde la pared de la botella y difundirse en el contenido de la misma, la generación de este producto debe ser cuidadosamente controlada durante la inyección de la preforma. El polímero debe contener máximo 2 ppm de acetaldehído.

El agua mineral así como las bebidas de cola son particularmente sensibles al acetaldehído". (*Celanese Mexicana S.A., Boletín Técnico, pag. 4*)

3.- Transparencia.

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

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

Cuando el PET se encuentra a una temperatura entre los 85 ° C y 250 °C, las moléculas tienden a alinearse para formar una estructura cristalina". (*Rodriguez, Diplomado de Ingeniería y Diseño de Envases y Embalajes, pag. 129*)

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

La temperatura de la masa durante el moldeo por inyección tiene un efecto significativo en la transparencia de la preforma. Mientras más elevada sea la temperatura tendrá una mayor cantidad de cristalitas fundidos, sin embargo no se puede elevar la temperatura en forma indiscriminada, ya que se corre el riesgo de generar una cantidad indeseable de acetaldehído". (*Celanese Mexicana S.A., Boletín Técnico, pag. 5*)

1.4.2.2. Fabricación de Botellas por Soplado.

"Este proceso abarca la producción de botellas, teniendo una orientación molecular biaxial. Esta orientación biaxial incrementa las propiedades físicas, claridad y propiedades de barrera, las cuales son sumamente importantes en productos como botellas para bebidas carbonatadas". (*Procesos Plásticos S.A., Manual Técnico de Preforma, pag. 40*).

Existen, principalmente dos razones para la orientación biaxial del PET. La primera es meramente económica, con el estiramiento el PET permite espesores muy delgados, paredes mas uniformes, y así contenedores más baratos. La segunda, con esta orientación se obtiene una mejora sustancial en las propiedades físicas y de barrera. Como se indica en el cuadro No. 1 donde se destaca la transmisión de vapor de agua, así como la permeabilidad de O₂ y CO₂ cuyos valores se ven reducidos gracias a la orientación biaxial de las moléculas; modulo de elasticidad así como la tensión de cedencia tienen un incremento importante debido a dicha orientación.

Cuadro No. 1: Mejoras en las propiedades físicas y de barrera en el PET cuando se aplica la orientación.

PROPIEDAD	PET (No orientado)	PET (Orientado)
Rango de Transmisión de vapor de agua (g/cm ² x 24h)	62	31
Permeabilidad del Oxígeno cm mm/m ² x 24h x atm)	51	2.2
Permeabilidad del Bióxido de Carbono cm mm/m ² x24hx atm)	28	14
Modulo de elasticidad Mpa	2,207	4,966
Tensión de cedencia MPA	56.6	172.4

Procesos Plásticos S.A., 1997.

En la fabricación de botellas por soplado se destacan las siguientes operaciones:

a) Calentamiento de preforma.

El objetivo del calentamiento es llevar al material a un estado semiplástico, ligeramente superior a la temperatura de transición vítrea (T_g).

El sistema más común de calefacción para las preformas es mediante un horno con lámparas de luz infrarroja de alto voltaje (2,000 wats), dividido en varias zonas, que calientan a la preforma por irradiación de calor.

Las preformas giran en la rueda del horno tipo carrusel y pasan delante de los tubos infrarrojos de calentamiento. A su salida del horno, la temperatura de la pared de las preformas debe estar comprendida entre 95 y 110 ° C (el tiempo de calentamiento se debe estar comprendido entre 20 y 45 seg.), un tiempo de estabilización térmica suficiente (alrededor de 10 seg.) permite una distribución regular de la temperatura en la pared de la preforma antes de ser introducida en el molde de soplado.

"Las preformas que presentan perfiles de temperatura que varían excesivamente pueden conducir a una orientación no uniforme en las paredes de las botella. Ocurren perfiles irregulares de temperatura cuando después de exponer las preformas a un calor radiante del exterior, el tiempo de estabilización térmica no ha sido suficientemente largo, y a consecuencia de la baja conductividad térmica, la pared de la preforma siempre tiene un ligero gradiente de temperatura entre el exterior (temperatura superior) y el interior (temperatura inferior)". (*Vázquez, Manual de Referencia para Soplado, pag. 2*)

b) Estirado/Soplado.

"El proceso de moldeo por estirado/soplo es utilizado para convertir la preforma que tiene estructura PET amorfo a una botella con diseño específico de estructura orientada biaxialmente. Este proceso se divide regularmente en tres etapas: estirado, presoplado y soplado.

1.- Estirado.

Una vez que las preformas se han calentado a la temperatura adecuada, entre 95 y 110 °C, se colocan dentro del molde de soplado y se cierra el molde, este tiene la forma definitiva que se quiere obtener para la botella. Aquí es donde se fuerza al PET a llegar a la longitud casi definitiva de la botella.

Son sumamente importantes el ajuste de la carrera de la varilla de estirado, así como la velocidad con que se estira el material. Por otra parte, el estirado de la preforma debe estar en combinación con el presoplado. La relación de estos dos elementos con respecto al tiempo es de gran importancia.

2.- Presoplado.

El presoplado se realiza, regularmente al mismo tiempo de que se realiza el estirado de la preforma, la correcta sincronización da como resultado la adecuada distribución de los materiales y al desarrollo de las características físico-mecánicas.

Con el presoplado se genera la primer expansión de las paredes de la preforma, que al mismo tiempo están siendo estiradas por la varilla. Comienza una deformación desde el centro de la botella y finaliza hasta obtener la longitud de la prebotella. La presión ocupada en este paso es casi la quinta parte de la presión ocupada en el soplado final. La preforma se estira a una figura ligeramente menor que el molde.

3.- Soplado.

El soplado final se realiza, ya que se estiro la preforma hasta solo unos milímetros del fondo de la botella, y la presión de presoplado se ha retirado. Se aplica la presión de soplado y las paredes de la botella son llevados hasta la superficie del molde, adquiriendo finalmente la forma deseada.

Las moléculas biorientadas del PET forman capas en la estructura de las paredes de la botella, estas capas tienen una pequeña separación unas con otras, sin embargo esta separación no afecta al desempeño de la botella".
(Procesos Plásticos S.A., *Manual Técnico de Preforma*, 43-45)

En la figura No. 7 se puede observar la manera en que se desarrolla el proceso de moldeo por estirado / soplado, desde la entrada de la preforma al molde hasta la obtención de la botella.

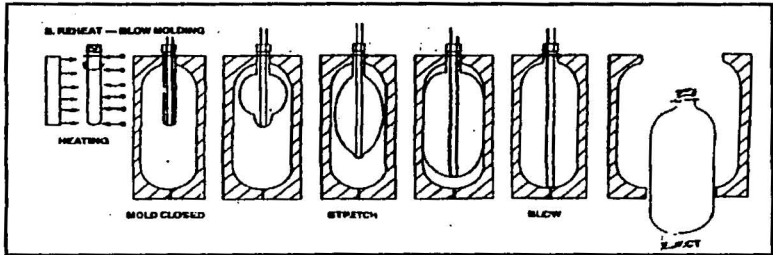


Figura No. 7.- Moldeo por Estirado / Soplo.

Rodriguez, 2000.

2. METODOLOGIA.

2.1. Descripción del Cuadro Metodológico.

La metodología seguida para cumplir con el objetivo general consistió en realizar una investigación bibliográfica, la cual esta dividida en dos partes.

Para cumplir con el objetivo particular 1, se describe el proceso de elaboración de bebidas carbonatadas, aquí se explica cada una de las etapas del proceso y se pone atención especial a la etapa de llenado, fase en la cual se centra nuestro estudio. Se detalla el principio de funcionamiento del sistema de llenado y se identifican los esfuerzos mecánicos a los que están sometidas las botellas de PET durante su llenado y cerrado.

Seguido de esto, se señalan los diferentes materiales empleados para el envasado de bebidas carbonatadas.

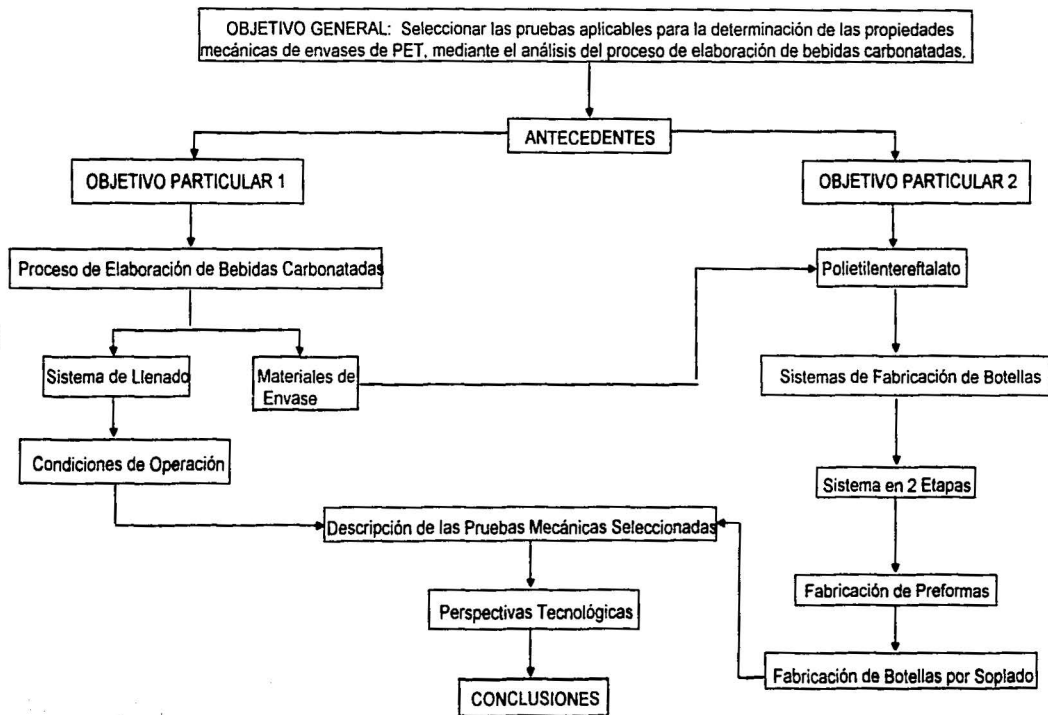
Para dar respuesta al segundo objetivo particular, se abordan los dos sistemas existentes para la fabricación de botellas de PET: a) sistema integrado ó de una etapa y b) sistema de dos etapas.

Al ser este ultimo el sistema más empleado en la industria se hace necesario describir en que consisten las dos etapas. En la primer etapa se lleva acabo la fabricación de una preforma, mientras que la segunda etapa consiste en el soplado de esta dentro de un molde para obtener así la botella.

El control de proceso durante la fabricación de las preformas y durante la fabricación de botellas por soplado, es un factor que contribuyen al desarrollo optimo de las propiedades mecánicas del envase. es por ello que junto con las condiciones de operación del sistema de llenado; nos permiten seleccionar las pruebas mecánicas que pueden ser aplicables a botellas de PET durante el llenado de bebidas carbonatadas, dando así respuesta al objetivo planteado al inicio de esta investigación.

En el siguiente capitulo se detallan las pruebas mecánicas aplicadas a envases de PET, así como también algunas pruebas de simulación de transporte. Por ultimo se abordan los criterios para el diseño estructural de botellas y el impacto ambiental de este material cuando es desechado.

CUADRO METODOLOGICO



3. Situación Tecnológica.

3.1. Pruebas Mecánicas Aplicadas a Envases de PET.

Las pruebas mecánicas en materiales son el resultado de las manifestaciones al esfuerzo sometido y nos permiten obtener datos que nos ayudan a visualizar el comportamiento que pudiera tener un envase, en deformaciones reversibles e irreversibles.

Si bien un material no pierde su estructura al ser sometido a un esfuerzo, si puede llegar a presentar cambios como: aumento en su permeabilidad, así como la disminución de sus propiedades mecánicas u ópticas.

Las propiedades mecánicas más comunes que se le determinan a los envases de PET en la industria de bebidas carbonatadas son:

1. Resistencia a la compresión (Top Load).
2. Resistencia a la ruptura.
3. Estabilidad de volumen.

3.1.1. Resistencia a la compresión (Top Load).

Para entender mejor esta prueba es necesario explicar algunos términos:

- Carga de cedencia a la compresión: Es la carga compresiva donde la deformación de la muestra se incrementa sin aumento en dicha carga. Esta carga es expresada en kilogramos de fuerza.
- Deformación crítica: Es el punto al cual la botella es comprimida a su punto de cedencia o deformada de tal manera, que su apariencia en posición vertical no es aceptable.

Fundamento:

"Este método define la capacidad de la botella a resistir cargas durante el proceso de llenado y cerrado. En esta prueba la botella vacía es sometida a un incremento de carga vertical sobre el cuello. La resistencia a la carga, es la carga que se aplica en el punto donde la botella empieza a colapsarse.

Aparato utilizado:

El aparato generalmente usado es una máquina de prueba de compresión, que tiene dos placas de metal una inferior y una superior, que ejercen una fuerza sobre una muestra situada entre las dos placas, las placas se cierran gradualmente comprimiendo la muestra". (NMX-EE-98-1980)

En la figura No. 8 se puede apreciar esta maquina, la cual debe ser capaz de aplicar una carga a velocidades constantes de 2.54 cm (1plg) por minuto y registrar la carga de deflexión de la muestra con una aproximación de + 1%. La platina superior de la maquina debe ajustarse en forma paralela a la platina inferior, cuando está equipada con junta giratoria.

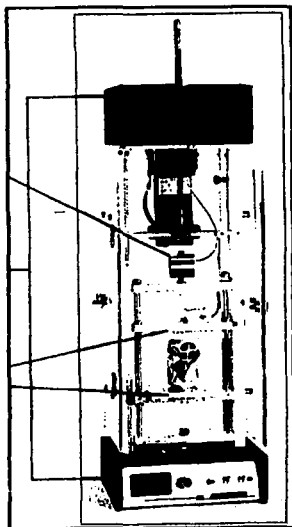


Figura No. 8.- Maquina de compresión.

Cole-Parmer, 2000.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Procedimiento:

- a) "Las botellas deben ser acondicionadas por un mínimo de 24 horas en la misma atmósfera que el equipo. Se recomienda una temperatura de prueba de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- b) Se determina y registra la masa la botella, con una aproximación de décimas de gramo; así como también la temperatura a la cual se lleva a cabo la prueba.
- c) Se ajusta la máquina de prueba a un valor de velocidad constante de 2.54 cm por minuto (1 plg por minuto).
- d) Se coloca la botella entre la superficie de las platinas de presión, con la línea de centro de del cuello de la botella alineado con el eje de centro de la fuerza compresiva. Debe dársele una salida al aire, por los orificios de la platina.
- e) Se procede entonces a comprimir la botella hasta que se haya alcanzado la carga de cedencia a la compresión. Este dato es registrado en kilogramos de fuerza". (NMX-EE-98-1980)

"La resistencia a la compresión está relacionada con la caída de la viscosidad y por lo tanto con el secado del polímero, si se tiene una caída de viscosidad grande y un mal secado del granulado del polímero se obtiene un decremento en la resistencia a la carga. (Rodríguez, *Diplomado de Ingeniería y Diseño de Envases*, pag. 128)

3.1.2. Resistencia a la ruptura.

"Las botellas están sujetas a rápidos incrementos de presión interna durante su llenado; además de que constantemente están presurizadas a causa de la carbonatación. Esta presión aumenta al incrementar la temperatura o durante el transporte y manejo de las botellas. Esta prueba mide la habilidad de las botellas de PET al soportar su presión interna". (Rodríguez, *Diplomado de Ingeniería y Diseño de Envases*, pag. 128)

"Se toma la presión al momento en el que la botella se colapsa, lo que es la fuerza de ruptura y está esencialmente es una medida de la capacidad de la botella a absorber energía". (Palacios, *Aspectos Importantes en el Control de Calidad en la Industria del Empaque*, pag. 27-30)

Durante el proceso de soplado es muy importante que el material sea distribuido uniformemente ya que si el espesor varía las propiedades físicas y de permeabilidad pueden ser afectadas.

Las botellas que contienen bebidas carbonatadas son presurizadas aproximadamente a 60 psi, el espesor de las paredes debe estar entre 0.009 a 0.015 plg. para evitar que la botella se colapse debido a la presión interna. (*The Packaging Encyclopedia*, pag. 146)

3.1.3. Estabilidad de volumen.

“La botella al estar presurizada con un cierto nivel de carbonatación da lugar a una ligera expansión de la misma. Este cambio da como resultado una variación en el nivel de llenado, lo cual si ésta es muy grande puede afectar la apariencia y aceptabilidad del producto en el mercado. Esta característica de control de estabilidad de la botella predice el incremento en volumen de la botella, midiendo la expansión que ocurre en la botella durante el periodo de vida de anaquel.

En la expansión de la botella debido a la presión de la carbonatación, sufre una deformación (cedencia del material), esta expansión toma en cuenta el porcentaje de incremento en el diámetro de la botella antes y después de carbonatar.

Las botellas presurizadas se someten a una temperatura de 37.8 ° C durante 24 hrs. para observar y predecir el comportamiento de resistencia dimensional de la botella con producto en condiciones drásticas de transporte”. *(Rodríguez, Diplomado de Ingeniería y Diseño de Envases, pag. 128-129)*

3.2. Pruebas de simulación de transporte.

Par simular el comportamiento de un producto durante su transporte, este es sometido a pruebas de laboratorio con equipos especiales para este fin. Estas pruebas, tienen la ventaja de estar estandarizadas y por lo tanto reproducibles, donde pueden controlarse prácticamente todas las variables.

Las pruebas a las que generalmente son sometidos los embalajes son las siguientes:

3.2.1. Prueba de plano inclinado.

"Esta prueba consiste en dejar deslizar un embalaje por un plano inclinado, al final del cual se encuentra un muro de contención, el embalaje se coloca sobre el carro en diferentes posiciones, tales que el impacto se efectuó sobre todos los lados de este". (Rodríguez, *Introducción a la Ingeniería de Empaques*, pag. 225)

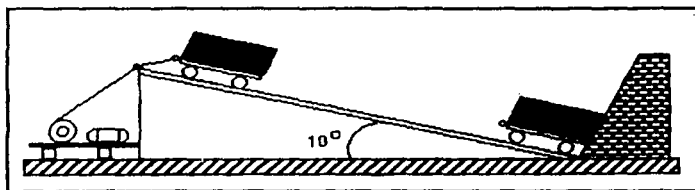


Figura No. 9.- Prueba de plano inclinado.

Rodríguez, 1990.

3.2.2. Prueba de compresión.-

“En esta prueba se comprueba la resistencia del embalaje a soportar el peso de una estiba. El embalaje generalmente se encuentra lleno con el número de envases a contener”. (Rodríguez, *Introducción a la Ingeniería de Empaques*, pag. 226)

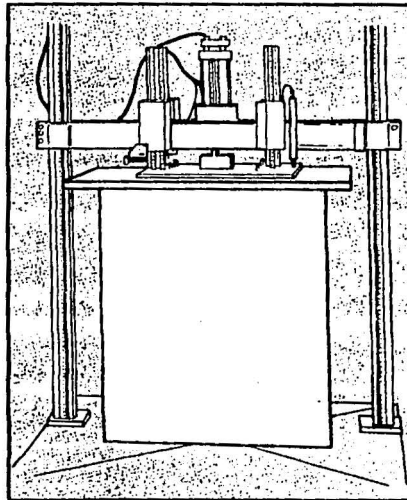


Figura No. 10.- Prueba de compresión para embalajes.

The Packaging Encyclopedia, 1982.

3.2.3. Prueba de vibración.

"Esta prueba simula la vibración causada durante el transporte de un producto.

La prueba se realiza sobre una mesa de vibración. Una vez colocado el producto, de preferencia con una carga representativa sobre el mismo, se somete el producto al efecto vibratorio durante un periodo de tiempo definido. Este tipo de prueba puede ser aplicada a anaqueles u otro sistema similar.

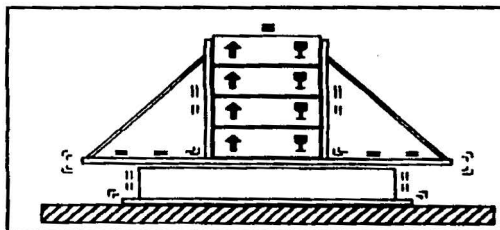


Figura No. 11.- Simulador de vibración.

Rodríguez, 1990.

En las pruebas presentadas anteriormente se tratan de simular riesgos de transporte como: vibraciones, choques repentinos, caídas, frenado y arranque, ladeos en curvas, etc. (Rodríguez, *Introducción a la Ingeniería de Empaques*, pag.225-228)

3.3. Perspectivas tecnológicas.

3.3.1. Criterios para el diseño estructural de botellas de PET para bebidas carbonatadas.

Si bien, el control de proceso durante la fabricación de botellas es esencial para el desarrollo óptimo de las propiedades mecánicas y de barrera; lo es también el diseño estructural de las mismas.

“La concepción de la botella de PET se basa, primero en la imagen que desea dar el fabricante al envase. La forma de la botella debe llamar la atención, permitir la identificación del producto y ser atractiva estéticamente.

Sin embargo la estética no debe comprometer de ninguna manera las propiedades mecánicas y la conservación del gas. En práctica, hay que alcanzar un compromiso entre las necesidades impuestas por la estética y el desempeño del envase.

Si tomamos como ejemplo las botellas para las bebidas con gas sin alcohol se ha elegido para las botellas de gran capacidad una forma que hace abstracción de la individualidad en favor de los desempeños máximos. La forma óptima de las botellas de bebidas carbonatadas con gas es una esfera, que es la forma geométrica de un envase bajo presión cuya superficie por unidad de volumen es mínima. Naturalmente no se puede aceptar esta forma en práctica y se ha diseñado una botella en forma de torpedo de un aspecto que es ahora familiar;

es un cilindro que termina a cada extremidad en una hemisfera y cuya altura del hombro debajo del anillo de soporte es la menor posible.

Para obtener propiedades mecánicas óptimas, es necesario diseñar envases sin ángulos vivos y sin cambios excesivos de forma". (Vázquez, *Manual de Referencia para Soplado*, pag. 4-5)

En la figura No. 12 se puede observar un diseño de botella en el que se evitan los ángulos vivos; en la figura del lado derecho se indica de manera punteada lo que se considera como un mal diseño de botella, ya que presenta ángulos vivos.

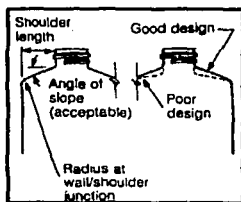


Figura No. 12.- Ángulos aceptables en el diseño estructural de botellas.

The Packaging Encyclopedia, 1982.

Según la experiencia, un elemento de protección del etiquetado no concebido correctamente puede reducir la resistencia a la carga vertical de la botella en un 30 %. (Simms, *The Packaging Encyclopedia*, pag. 144) En la figura No. 13; la imagen de la izquierda muestra un área destinada para el etiquetado que no disminuye la resistencia a la carga vertical, mientras que la de la derecha presenta un área demasiado profunda y con ángulos demasiado abruptos.

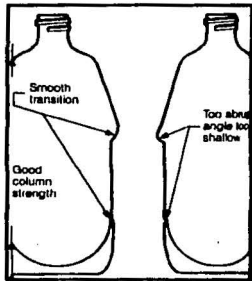


Figura No. 13.- Area de Etiquetado.

The Packaging Encyclopedia, 1982.

En cuanto a las botellas con bebida sin gas es posible adaptar formas más individualizadas porque los desempeños no necesitan propiedades tan críticas.

Para una aplicación sin gas que permite la utilización de botellas más ligeras de pared más delgada, se le hacen a veces ondulaciones o gargantas transversales para lograr una mejor rigidez al llenar el envase, para asegurar una buena toma en la mano y mejor aspecto estético; como la que se muestra en la figura No. 14.

Sin embargo, esas características resultan en una disminución excesiva de la resistencia de la botella a cargas verticales.



14.- Botella típica de bebidas sin gas.

(Vázquez, 1997).

"Mientras que anteriormente se admitía que una preforma bien concebida producía automáticamente una botella correcta, se aprecia ahora la importancia del diseño de la botella por su verdadero valor.

Ahora se dispone de diseños de botellas que evitan un número excesivo de paneles y comprenden fondos de varias formas que mantienen la botella de pie.

Los fondos planos no son aconsejados porque conducen a una orientación inferior y una orientación al choque reducida. Por regla general el diseño del fondo de la botella debe evitar ángulos vivos que resultan en botellas de poca solidez, según este principio, los diseños de bases en forma de botella de champagne o petaloidea dan desempeños satisfactorios". (Vázquez, *Manual de Referencia para Soplado*, pag. 6)

En la elaboración de botellas es muy importante la verticalidad, o sea, la relación que existe entre el terminado de este y el centro de la base siendo importante para la excentricidad, estabilidad durante el llenado, almacenamiento, entre otros. Actualmente las formas cilíndricas son más fáciles

de elaborar, tienen mayor resistencia y pueden ser utilizadas en llenadoras de alta velocidad. Se ha cambiado de ángulos rectos a secciones circulares, se observa la disminución de resistencia a medida que las formas tienen mayor número de ángulos donde es posible concentrar esfuerzos.

3.3.2. Impacto ambiental generado por desechos de PET.

“El PET, es uno de los materiales para envasado que más ha incrementado su consumo en los últimos años , resulta por sus características, especialmente interesante para reciclar y existe una importante demanda del producto reciclado para diferentes aplicaciones. El reciclado del envase de PET como desperdicio industrial, comercial o postconsumo es una realidad viable, ya que da lugar a un producto con un importante valor agregado que se utiliza en diversas aplicaciones y contribuye a disminuir la generación de residuos”.
(APREPET, *El PET y el Ambiente*, pag. 1-2)

“Existen en el mundo más de 60 aplicaciones comerciales, es decir, hay viabilidad económica, en México son menos, el mayor volumen de las aplicaciones se refiere a aplicaciones de fibra, por que el PET es primo hermano del poliéster textil y se regresa allá la mayoría de las aplicaciones, en Estados Unidos, se fabrica ropa comercial a partir de 100 por ciento botella reciclada, 35 por ciento de las alfombras de Estados Unidos eran botellas de refresco”.
(Moreno, *APREPET*, 50-51)

“Se han realizado estudios complementarios, donde se comparan las propiedades térmicas y mecánicas de PET de botellas recicladas y de resina virgen. Los datos que a continuación se presentan son el resultado de un estudio hecho a tres diferentes materiales. a)PET virgen cuya viscosidad intrínseca es de 0.76 dl/g (PETv); PET reciclado con 20 ppm de PVC (PETA) y PET reciclado con 6000 ppm de PVC (PETb).

En el cuadro No. 2 se muestran los resultados del estudio calorimétrico realizado a los tres diferentes materiales; donde se observa que no existe una variación significativa en la temperatura de transición vítrea, mientras que la temperatura y la entalpía de cristalización disminuyen conforme el PET es más impuro. Por su parte la temperatura y la entalpía de fusión, así como el porcentaje de cristalización aumentan; lo que se traduce en la disminución las propiedades mecánicas.

Cuadro No. 2: Estudio calorimétrico de PET virgen y reciclado, durante el moldeo por inyección.

	Tg	Tc inic.	Tc min.	ΔH_c	Tm inic.	Tm max	ΔH_m	X c
PETv	80	131	137	23	233	247	36	10
PET a	81	128	134	22	234	249	41	13
PET b	80	126	133	20	235	251	42	16

Torres, 1999

Donde: Tg (temperatura de transición vítrea en ° C)

Tc (temperatura de cristalización en ° C)

T_m (temperatura de fusión)

ΔH_c (Entalpía de cristalización en J/g)

ΔH_m (Entalpía de fusión en J/g)

X_c (Porcentaje de cristalización)

Como se sabe la viscosidad intrínseca es una medida indirecta del peso molecular del PET, conforme el peso molecular aumenta las propiedades mecánicas y químicas son mejoradas.

En el cuadro No. 3 se presentan los valores de viscosidad intrínseca y de peso molecular antes y después del moldeo por inyección, donde se aprecia como a medida que el PET es más impuro estos valores disminuyen considerablemente y por ende sus propiedades mecánicas.

Cuadro No. 3: Viscosidad intrínseca y peso molecular promedio de PET virgen y reciclado, antes y después del moldeo por inyección.

	Viscosidad intrínseca (dl/g)	Peso molecular (g/mol)
Pellets de PET v	0.78	44 000
Moldeo por inyección PET v	0.74	42 200
Fragmentos de PET a	0.77	44 900
Moldeo por inyección PET a	0.69	37 900
Fragmentos de PET b	0.80	47 600
Moldeo por inyección PET b	0.61	31 300

Torres, 1999

La disminución de las propiedades mecánicas es una consecuencia de la disminución de la viscosidad intrínseca y del peso molecular. En el cuadro No. 4 se aprecia como el % de elongación y la resistencia al impacto disminuyen como consecuencia de la caída de la viscosidad intrínseca y el peso molecular.

CUADRO No. 4: Propiedades mecánicas de PET reciclado y virgen moldeado por inyección.

	Modulo de Young (N mm ⁻²)	% de Elongación	Resistencia al impacto (KJ m ⁻²)
PET v	2140	270	3.0
PET a	2170	5.4	2.4
PET b	1996	3.0	1.8

Torres, 1999.

Este estudio demuestra que el PET reciclado sufre un degradación termo - mecánica durante el moldeo por inyección. El PET virgen posee una conducta dúctil, considerando que el PET reciclado es quebradizo. Este resultado es una consecuencia de la diferencia en cristalinidad entre los materiales, aunque se moldearon bajo las mismas condiciones. La cristalización del PET reciclado se ve favorecida por:

- la presencia de impurezas y de otros polímeros.
- la disminución de la viscosidad intrínseca y el peso molecular promedio,

- la diferencia de la del térmicas del historias y del mecánicas de propiedades de la (los trozos que vienen del las botellas fueron cristalizados por un estirado mecánico, mientras que los pellets fueron cristalizados por medio de calor),
- la presencia de humedad residual,
- la orientación molecular del material durante el moldeo por inyección.

Estos resultados también demuestran que el grado de pureza de las resinas recicladas es un parámetro importante a considerar. El PETb que es más impuro que el PETa, es más sensible a la degradación térmica e hidrolítica. Esto lleva a una disminución en la viscosidad intrínseca y el peso molecular promedio, que facilitan la cristalización que reduce considerablemente el % de elongación y la resistencia al impacto del PETb". (*Torres, Study Thermal and Mechanical Properties of Virgin an Recycled PET, pag. 2075*)

Como se puede ver uno de los problemas que presenta la utilización de botellas de PET es el impacto ambiental que causan al ser desechadas después de usarse; ya que las botellas recicladas difícilmente pueden volver a usarse para el mismo fin es necesario generar otras opciones de uso para el PET reciclado.

CONCLUSIONES.

En la presente investigación se seleccionaron las pruebas que a juicio personal son aplicables a envases de PET durante la fase de llenado de bebidas carbonatadas y durante el transporte de producto terminado. En los siguientes párrafos se resalta la importancia de la aplicación de dichas pruebas.

Mediante la determinación de la resistencia a la compresión (Top Load), se puede observar si el envase es capaz de resistir las cargas a la que es sometido durante el llenado y cerrado del mismo.

Por su parte, la determinación de la resistencia a la ruptura permite predecir si las botellas de PET son capaces de soportar los rápidos incrementos de presión interna a los que son sometidos durante la fase de llenado.

Debido a que las botellas de PET están presurizadas con un cierto nivel de carbonatación presentan una ligera expansión; esto da como consecuencia una variación en el nivel de llenado. Para predecir esta variación es necesario determinar la estabilidad de volumen de dicho envase.

Por otra parte; las pruebas de plano inclinado, compresión y vibración son de utilidad para predecir el comportamiento del producto durante su transporte. Cabe aclarar que estas pruebas son aplicables a embalajes, como los usados para transportar bebidas carbonatadas.

Si bien, las pruebas físicas nos dan una idea de cómo se comportaría el envase durante el procesamiento de bebidas carbonatadas, es necesario considerar que el desempeño óptimo de dicho envase depende de factores como:

a) El control de proceso durante la fabricación de preformas: este es fundamental para obtener una botella de calidad. Así por ejemplo; si la resina a utilizar no ha sido secada adecuadamente antes de la plastificación se puede tener una caída en la viscosidad intrínseca, dando como consecuencia una disminución en las propiedades mecánicas como la resistencia a la carga.

b) El control de proceso durante la fabricación de botellas por soplado: es importante, ya que es aquí donde se logra la orientación biaxial del PET que es fundamental para el desarrollo de las propiedades mecánicas y de barrera. En este proceso es necesario que el material se distribuya de manera uniforme dentro del molde, ya que una variación en el espesor de la botella contribuye a la disminución de propiedades como la resistencia a la ruptura.

c) El diseño estructural de las botellas es otro factor a considerar, ya que un mal diseño puede comprometer el desempeño del envase.

Finalmente podemos concluir que las pruebas mecánicas son determinantes en el desarrollo de materiales para envase; pues son parte fundamental en la selección y control de calidad de los mismos.

BIBLIOGRAFIA.-

1.- Asociación para Promover el Reciclaje del PET.

"El PET y el ambiente". Boletín de la APREPET. Año 2, No. 2, México 1998.

2.- Báez, C.

"Envases Plásticos: Propiedades y Comportamiento".

Revista: Ingeniería y Diseño, Envase y Embalaje, Packaging Editorial,
México, Enero 2001.

3.- Bakker, M.

"The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology".

Editorial John Wiley and Sons, 1986.

4.- Celanese Mexicana S.A.

"PET: ¿ Que es y como se fabrica ?". Boletín Técnico, México 1998.

5.- Dagda, P.E.

"Sistemas de Llenado para Alimentos Líquidos y Bebidas"

Seminario de Envase y Embalaje de Alimentos, FESC-UNAM, México, 2001.

6.- Desrosier, N.W.

"Elementos de Tecnología de Alimentos"

Editorial C.E.C.S.A., México, 1999.

7.- Moreno, C.

"APREPET. Asociación para Promover el Reciclaje del PET"

Revista: Empaque Performance. Año 6, No. 62, México 1996.

8.- Morton-Jones, D.H.

"Procesamiento de Plásticos"

Editorial Limusa, México 1993.

9.- Palacios, M.H.

"Aspectos Importantes en el Control de Calidad, para películas plásticas en la industria del empaque"

Revista: Empaque Performance. Año 9, No.99, México 1999.

10.- Potter, N.N.

"Ciencia de los Alimentos"

Editorial Acribia, España 1999.

11.- Procesos Plásticos S.A. de C.V.

"Manual Técnico de Preforma". México 1997.

12.- Ranken, M.D.

"Manual de Industrias de los Alimentos".

Editorial C.E.C.S.A., México 1993.

13.- Rodríguez, J.A.

"Introducción a la Ingeniería de Empaques".

Productos de Maíz, S.A. de C.V., México 1990.

14.- Rodríguez. J.A.

"Diplomado en Ingeniería y Diseño de Envases y Embalajes".

Packaging Editorial, México, 2000.

15.- Simms, W.

"The Packaging Encyclopedia"

E.U.A., 1982.

16.- Torres, N. ; Robin, J.J.

"Study Thermal and Mechanical Properties of Virgin an Recycled PET".

European Polymer Journal, octubre 1999.

17.- Vaca, A.

"Resina PET"

Revista: Empaque Performance. Año 5. No. 54, México 1995.

18.- Vázquez, A.

"Manual para Referencia de Secado".

Embotelladora Metropolitana S.A. de C.V., México 1997.

19.- Vieyra, E.

"Materiales para envases de refrescos"

Revistas: Empaque Performance. Año 9, No. 103, México 2000.