

Es realmente difusa la barrera entre la revisión de la investigación reciente sobre un tema y una contribución para la actualización docente. Esta sección recoge artículos de revisión apropiados para la enseñanza de temas de frontera.

PET, Poli (tereftalato de etileno), material clave para la fabricación de envases de bebidas carbonatadas

Felipe León-Olivares,¹ Alba Gutiérrez-Rodríguez¹ y Joaquín Palacios-Alquisira²

Resumen

En este trabajo se presenta un resumen del desarrollo histórico de los materiales que han sido utilizados como envases primarios de bebidas carbonatadas, es decir, el vidrio, el aluminio y PET. Particularmente, se ha observado que el poli(tereftalato de etileno), más conocido como PET, se usa en las más diversas industrias. El estudio, aborda el análisis comparativo de algunas propiedades fisicoquímicas, como la densidad, dureza, resistencia al impacto, resistencia a la tensión y permeabilidad, que permitan valorar las ventajas y desventajas de tres diferentes materiales empleados en los envases en bebidas carbonatadas.

Introducción

En educación se ha insistido constantemente en la importancia de los conceptos aprendidos en la escuela y su relación con la vida diaria de los alumnos se desea que reconozcan el impacto de la ciencia en la tecnología y la sociedad. Por tal motivo, el presente trabajo tiene la finalidad de hacer evidente el desarrollo de la tecnología para obtener un envase primario adecuado para contener las bebidas carbonatadas.

Sabemos que México ocupa uno de los primeros lugares *per capita* en el consumo de refrescos en el mundo. Según encuestas realizadas en 1993, los países con mayor consumo son: EU 200 litros/año, México 140 litros/año, Canadá 110 litros/año respectivamente. Este fuerte consumo de refrescos es un índice de la gran cantidad de envases que son requeridos por la industria de los refrescos en el mundo. Por esto, nos interesamos en hacer un análisis de las propiedades de los materiales utilizados como envases de los refrescos para mostrar sus ventajas y desventajas. Así, por ejemplo, si visitamos una

tienda de autoservicio podemos encontrar envases de refrescos elaborados o fabricados con materiales poliméricos, metálicos o de vidrio. Los envases fueron evolucionando poco a poco hasta lograr el más apropiado para el producto. Esta tarea, desde luego, no fue fácil ya que se deben considerar las propiedades fisicoquímicas del material y las características del producto, así como la interacción entre ambos.

En el presente trabajo se presentan y comparan propiedades fisicoquímicas de tres materiales usados como envases de refrescos carbonatados: aluminio, poli(tereftalato de etileno) PET (siglas que provienen del nombre de este material en inglés) y vidrio.

El comienzo de una industria

La aparición de los productos que actualmente conocemos como refrescos se remonta hasta las ciudades-estado de los antiguos griegos, quienes utilizaban las aguas minerales por sus propiedades medicinales y refrescantes. En 1767, Joseph Priestley encontró un procedimiento para carbonatar el agua por medios artificiales. Para hacerlo, primero obtenía el dióxido de carbono (CO_2) a través de la reacción de una sal sódica, como el bicarbonato de sodio y un ácido, para después burbujearlo en una disolución acuosa. Por este motivo se nombró a las bebidas gaseosas "sodas". Hacia 1860, en Estados Unidos se empezó a desarrollar una industria de las "sodas" o "refrescos" de una gran variedad de sabores. Los principales ingredientes de los refrescos carbonatados son azúcar, saborizantes, colorantes, ácidos, agua y dióxido de carbono. La concentración de cada uno depende del contenido de CO_2 : es posible disolver de 1.5 a 4 volúmenes de gas carbónico por cada volumen de líquido (Córdova,1990; Potter,1973). En los primeros años de desarrollo de la industria, se bebían y saboreaban estos productos en los locales de la planta; sin embargo hubo necesidad de facilitar que el producto llegara al consumidor y para ello se requería de un envase que desempeñara la función de conservar y transportar al producto. Así surgió el empleo de envases de vidrio para las bebidas carbonatadas (Garritz,1994).

¹Escuela Nacional Preparatoria Plantel 1 "Gabino Barreda" y Plantel 5 "José Vasconcelos". Tel: 56535485 Fax: 54894937, E-mail: felipeleon@correo.unam.mx

²Facultad de Química, UNAM.

Recibido: 3 de mayo de 2001; aceptado: 23 de agosto de 2001.

El envase primario y sus características

Los envases de las bebidas carbonatadas deben cumplir funciones definidas como el proporcionar seguridad e higiene al producto. De manera paralela, deben protegerlo contra la cesión o la captación de olores provenientes del medio, así como de oxidaciones que pueden alterar y modificar sus características organolépticas durante su transporte y almacenamiento. El material de envase debe ser inerte, es decir, no debe producir reacciones con el producto y debe ser seguro para el consumidor desde el punto de vista toxicológico (Rojas, 1999)

En la actualidad encontramos una variedad de envases para los refrescos, que se pueden fabricar de materiales como vidrio, aluminio y polímeros. De éstos, el más común es el poli(tereftalato de etileno) conocido como PET. Sin embargo, los materiales con los que se elaboran los envases están sujetos a continuas modificaciones con el propósito de hacerlos atractivos a la vista, menos pesados, ecológicos, baratos y seguros para el consumidor (Ullmann's, 1988).

Primer material, el vidrio

El vidrio está compuesto por sustancias inorgánicas que se encuentran en estado amorfo. A la temperatura ambiente, el vidrio se encuentra en un estado vítreo en el cual las unidades moleculares están dispersas en forma desordenada y presentan cierta cohesión que le imparte rigidez. El material se encuentra formado por una mezcla de óxidos, generalmente 60% de sílice (SiO_2) y 40% de dos o más óxidos inorgánicos diferentes como los de sodio, potasio y boro. El vidrio utilizado en la fabricación de botellas presenta una elevada concentración de sodio y calcio. Esta mezcla de óxidos secos y pulverizados se calientan a temperaturas cercanas a los 1,500 °C. El vidrio se enfría hasta solidificarse sin que se produzca cristalización y el calentamiento puede devolverle la forma fluida, que da como resultado un material muy viscoso, 110²⁰ poises o su equivalente en el SI, 10¹⁹ Pa (López, *et al.*, 1992).

La fabricación de botellas se realizaba tomando la masa pastosa de vidrio mediante un tubo de hierro e introduciendo la masa en un molde donde se soplaba obteniendo la botella de igual forma. En 1915 se desarrollaron procesos para la elaboración de envases de vidrio y uno de los más adecuados fue el que creó la empresa Root Glass Company con las botellas *contour*, que utilizó como material fundamental al vidrio (Phillips, 1947).

Actualmente las botellas de vidrio se fabrican

alimentando a una máquina automática, en la que por medio de moldes especiales se da forma final al envase. Los envases ya formados reciben un tratamiento con temperatura para disminuir el riesgo de que se rompan (templado).

La industria de los refrescos seleccionó como primer material para sus envases al vidrio, porque conserva inalterable la pureza, sabor, aroma y calidad de la bebida; además, es transparente, lo cual permite que el producto se vea y sea apetecible para el consumidor. El material no presenta poros y no puede ser perforado por agentes punzantes, evita el escape de gas durante el almacenamiento y es 100% reciclable.

Si bien son muchas las ventajas del vidrio, también existen algunas desventajas tales como que la tapa que utilizaba la botella era metálica y estaba sujeta a procesos de corrosión. El sello de la misma se hacía de un material flexible. Originalmente se empleó el corcho, de ahí el nombre de corcholatas. Además, el vidrio es susceptible a la fractura por choque, por presión interna, impacto o choque térmico, el cual se hace presente durante la transportación del líquido. Los envases recolectados debían lavarse perfectamente para ser reutilizados. Por todo esto fue necesario investigar nuevos materiales que mejoraran las propiedades (Potter, 1973).

Otra alternativa, el aluminio

El aluminio es otro material que ha sustituido al vidrio como materia prima, para la fabricación de envases de refrescos. Las muy conocidas latas de aluminio entraron al mercado en 1960 y fue hasta 1981 cuando se introducen de manera extensiva en el mercado mexicano. Entre las propiedades sobresalientes del aluminio como material útil para el envasado, resaltan su ligereza, baja densidad, bajo grado de corrosión atmosférica, además se moldea fácilmente; sin embargo, este material presenta una fuerza estructural considerablemente menor que la del acero del mismo grosor. En contacto con el aire, el aluminio forma una película protectora de óxido, a la cual se debe su alta resistencia a la corrosión. En condiciones de relativa ausencia de oxígeno, como las existentes en la mayoría de las latas que contienen alimentos, esta película de óxido de aluminio desaparece rápidamente y entonces el metal pierde su resistencia a la corrosión. Esta situación se puede remediar por medio de recubrimientos con esmalte. En las latas de aluminio casi siempre se utilizan barnices en la parte interior, con el propósito de

darle la resistencia adecuada; en la parte externa se utilizan esmaltes, barnices y tintas (Potter, 1973). Una innovación tecnológica interesante fue el proveer a las latas con un tirador o anillo de metal sujeto a la tapa que sirve para abrirlas fácilmente y hace innecesario el empleo de otro tipo de instrumento. El aluminio también presenta algunas desventajas, ya que es un material costoso y al golpearse se deforma y queda con abolladuras. El sello entre la tapa y el cuerpo del envase cilíndrico requiere del empleo de un material polimérico de alta elasticidad.

**El nuevo material:
poli(tereftalato de etileno), PET**

El PET presenta algunas ventajas para su empleo en la industria de los envases. Fue patentado a finales de los años cuarenta por J.R. Whinfield y J.T. Dickson, como la materia prima útil para la elaboración de fibras (Seymour, 1992); la estructura química se muestra en la figura 1.

El PET es una resina termoplástica que se obtiene a partir de etilén glicol y ácido tereftálico. Históricamente el polímero se obtenía en un proceso de síntesis con tereftalato de dimetilo (DMT); hoy en día coexisten los dos procesos para producir el PET. El primer proceso industrial empleaba la reacción de transesterificación del DMT con etilén glicol. Al producirse el ácido tereftálico de alta pureza se han desarrollado procesos por esterificación directa. El polímero es un material que tiene una apariencia semejante al vidrio, es transparente, semicristalino y con brillo. En las fibras de PET el polímero es altamente cristalino y por lo tanto translúcido; en las botellas del mismo material es amorfo y por lo tanto transparente. El PET evita que el gas de la bebida carbonatada se escape; resiste mucho más a las fracturas que el vidrio, ya que puede deformarse parcialmente y volver a su forma original; presenta un bajo peso específico, lo que favorece su transporación con ahorro de energía.

Una de las propiedades más sobresalientes del PET es su resistencia al impacto pues una botella llena de líquido resiste caídas de hasta 2 m de altura sin presentar fractura. La tapa típica del envase –taparosca– también está hecha de un polímero y permite liberar el producto mediante la presión mecánica de la mano, eliminando así todo tipo de destapadores. Las botellas de PET están marcadas con el número uno del código de reciclado y las siglas PETE, lo que permite que el material pueda ser separado y reciclado siempre y cuando se encuentre limpio, aunque

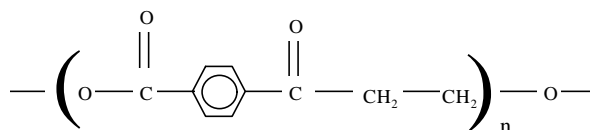


Figura 1. Estructura del poli(tereftalato de etileno) PET.

esta opción esta en vías de extinción, pues todos los envases de PET son no retornables. Esta misma situación se presentó en el caso de los envases de vidrio y los cilindros de aluminio, debido a su alto costo deben recuperarse.

La desventaja principal del PET reside en que no es tan impermeable al paso del gas como el vidrio; además puede ser perforado con agentes punzantes.

En Estados Unidos se utilizó por primera vez el PET como material de envases de refrescos y fue hasta mediados de la década de los ochenta que su empleo se introdujo extensivamente. De esta manera el uso del PET ha generado un cambio en la presentación de los envases primarios que resuelve satisfactoriamente los requerimientos que demanda la industria de las bebidas carbonatadas (Ullmann, 1988; Parker, 1987).

**Envases de: aluminio, PET y vidrio,
¿cuál es el mejor?**

Por lo antes expuesto en el desarrollo histórico, los materiales empleados para fabricar los envases primarios deben reunir ciertas características fisicoquímicas que permitan su empleo con éxito. Se escogieron algunas propiedades que definen el comportamiento de los materiales empleados en la industria de los alimentos: densidad, dureza, resistencia al impacto, flexibilidad, permeabilidad, resistencia a la tensión (módulo de Young). En la tabla 1 aparecen las fórmulas de cálculo, así como las unidades de las propiedades seleccionadas. En la primera columna se presentan cinco propiedades que se consideraron importantes. En la segunda columna aparecen los números de identificación del método de prueba recomendado, en la tercera columna se presentan las fórmulas de cálculo; las variables pueden identificarse fácilmente a través de su definición. En la cuarta columna se presentan las unidades más empleadas para la presentación de los valores.

Discusión

En la tabla 2, se muestran los valores de las propiedades en estudio; éstos se encuentran reportados en la literatura (Bansal, 1986; Krochwitz, 1992; Mondolfo, 1979). Con un asterisco se marcaron aquellos valores que favorecen el empleo del material como envase primario en refrescos. En dicha tabla se presentan los datos precisos de las propiedades en estudio. La densidad del PET es la más baja (1.41 g/cm³), lo cual significa que es posible transportar una cierta cantidad de líquido, por ejemplo, en un envase de dos litros, con un ahorro considerable de energía pues el envase de plástico pesa menos que el de vidrio de la misma capacidad, ya que este último material tiene la más alta densidad, 2.8 g/cm³. Es posible también comparar la permeabilidad al CO₂ en los tres materiales, la cual es muy baja para el aluminio y el vidrio si se le compara con el valor reportado de 25 barrers para el PET. Sin embargo, el material polimérico PET es útil, como sabemos, para envasar refrescos ya que se han reportado vidas medias de anaquel de los productos carbonatados, de hasta seis semanas sin reducción apreciable en su presión, causada por la pérdida del CO₂ a través de las paredes del recipiente.

Enseguida se presenta información relativa a la dureza de los tres materiales. Se seleccionó la escala de Mohs como una prueba directa y sencilla de la resistencia de las superficies al rayado. El vidrio presenta las mejores características, con un valor de 7 en la escala, seguido por el aluminio que presenta un valor de 2 a 2.9, y finalmente aparece el PET con el valor de 1.

Podemos comparar los valores del módulo de Young en GPa para los tres materiales: el vidrio y el aluminio presentan valores muy parecidos, entre sí, 63 y 65 GPa, en cambio el valor reportado para el PET es mucho menor.

En resumen, el PET presenta una baja densidad, dureza baja, flexibilidad alta, resistencia al impacto alta, permeabilidad al CO₂ media, y todas estas características hacen del PET un material apropiado para su empleo en la fabricación de envases primarios en la industria de las bebidas carbonatadas.

La dureza de la superficie de los recipientes, o sea su resistencia al rayado y la resistencia al impacto, son dos propiedades importantes para la aplicación de un material como el PET, pues sabemos que durante el transporte de los refrescos éstos se ven expuestos a fuertes fricciones, choques y rayado de la superficie por otros objetos como los contenedores.

Mediante el empleo del PET en sustitución de las botellas de vidrio y latas de aluminio, se eliminó del

Tabla 1. Propiedades típicas de los materiales empleados en la fabricación de envases primarios para bebidas carbonatadas

Propiedad fisicoquímica	Método de prueba*	Fórmula de cálculo	Unidades
Densidad	ASTM D 792	$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{m}{v}$	(g/cm ³)
Dureza	ASTM D 785	Resistencia al rayado	Escala comparativa de Mohs
Resistencia a la flexión	ASTM D 790	$\gamma = \frac{4fL^3}{Ba^3E} = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{módulo}}$	(cm)
Resistencia al impacto	ASTM D 256	$RI = (h_1 - h_2) \frac{W}{d}$ $RI = \frac{\text{Energía para fracturar}}{\text{espesor}}$	(J/m)
Resistencia a la tensión	ASTM D 651	Módulo de Young $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ $E = \frac{\text{Esfuerzo a la tensión}}{\text{elongación}}$	(N / m ²)
Permeabilidad		$P = SD$ Permeabilidad = (solubilidad) (difusibilidad)	Barrer = $\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Torr}} 10^{-10}$

*ASTM: American Society for Testing and Materials.

Tabla 2. Tabla comparativa de las propiedades de los materiales empleados en la fabricación de envases primarios para bebidas carbonatadas

Propiedades (unidades)	Materiales		
	Aluminio	PET	Vidrio
Densidad (g/cm ³)	2.7-2.8	1.37-1.41*	2.4-2.8
Dureza (Escala de Mohs)	2-2.9	1*	7*
Módulo de Young (GPa)	65	1	63
Permeabilidad al CO ₂ (Barrer)	<* < 15	15-25*	<* < 15

proceso de producción de refrescos la etapa correspondiente a la limpieza de los envases primarios. Anteriormente se utilizaban cepillos, detergentes y agua a presión en la etapa de lavado de los envases (Mcckeetta, 1989). Bajo estas condiciones era muy fácil producir marcas y defectos sobre la superficie de las botellas.

En la tabla 3 se presentan los resultados del estudio comparativo entre los materiales, esta vez de manera cualitativa. En esta tabla se empleó una escala con los adjetivos baja, media y alta, lo cual nos permite identificar con rapidez cuál es el material que conviene seleccionar para la fabricación de los envases primarios de refrescos y líquidos en general en la industria de los alimentos. Se consideraron en este caso solamente criterios basados en información tecnológica y química; no consideramos aquí los aspectos económicos y ecológicos del problema.

Resumiendo, por su baja densidad, su dureza baja, su módulo de Young bajo, su alta resistencia al impacto y su permeabilidad media al CO₂, en el PET se conjuntan varias características fisicoquímicas adecuadas para su empleo con ventaja en la fabricación de envases primarios. La razón principal para el cambio gradual hacia el empleo del PET como material útil en la industria de los refrescos desplazando al vidrio y al aluminio, es el costo menor de este material.

Conclusiones

Por medio de un análisis comparativo de las propiedades de los tres materiales (aluminio, PET y vidrio), es posible presentar y discutir en grupos de Química IV, del Programa de Estudios de la Escuela Nacional Preparatoria, UNAM, los conceptos fisicoquímicos

de: densidad, dureza y resistencia a la flexión, así como otras propiedades mecánicas, y relacionarlos con una aplicación práctica muy conocida por los alumnos, como es el empleo de los materiales tradicionales como el vidrio y el aluminio, y su sustitución por un material polimérico, en este caso el PET.

De acuerdo con el análisis, el PET presenta varias ventajas importantes sobre el vidrio y aluminio, fundamentalmente, la baja densidad, resistencia al impacto alta y permeabilidad adecuada, que determinaron la sustitución del vidrio y aluminio por un material polimérico.

Se sugiere a los profesores de la materia pedir a los alumnos como tarea el preparar cálculos comparativos de los costos energéticos involucrados en la producción de los envases. Otro aspecto importante es el señalar a nuestros alumnos la trascendencia del reciclado de los materiales, el cual es factible en nuestros tres ejemplos, y considerar también las variantes en costo y desempeño. ■

Bibliografía

Bansal, N.P.; Doremus, R.H., *Handbook of glass properties*. Academic Press Inc., Nueva York, 1986.
 Córdova, J.L., *La química en la cocina*. Colección La Ciencia Desde México. No. 93. SEP/FCE, México, 1990.
 Garritz, A. y Chamizo, J.A. *Química*. Addison Wesley-Interamerica, México, 1994.
 Kirk, R.; Othmer, D., *Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley and Sons. 4a. edición Vol. II, Nueva York, 1992.
 López, T. *et al.*, "Vidrios", en: *Contactos* 7, 40-48 UAM, Iztapalapa, México, 1992.
 Mcckeetta, J.J., *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. Marcel Dekker, Nueva York, 1989.
 Mondolfo, L.F., *Aluminium Alloy, Structures Properties*. Butterworths, London, Boston, 1972.
 Parker, T. Sybil, *Encyclopedia of Science and Technology*. McGraw Hill, Vol. 1, Nueva York, 1987.
 Phillips, J., *El vidrio*. Reverté, Barcelona, 1947.
 Potter, N.N., *La ciencia de los alimentos*. Edutex, México, 1973.
 Rojas, C., "Aspectos sanitarios y toxicológicos en los envases de los alimentos", en: *Cuadernos de Nutrición*. Vol. 22, No. 1, 1999.
 Seymond, R.; Carraher, Ch., *Polymer Chemistry an introduction*. McGraw Hill, Nueva York, 1992.
 Ullmann's, *Encyclopedia of Industrial Chemistry*. VCH. Alemania. Vols. 10 y 11, 1988.

Tabla 3. Propiedades comparativas de tres materiales empleados para la fabricación de envases primarios en bebidas carbonatadas.

Escala cualitativa			
Propiedad	Aluminio	PET	Vidrio
Densidad	media	baja	alta
Dureza	media	baja	alta
Módulo de Young	alto	bajo	alto
Resistencia al impacto	media	alta	baja
Permeabilidad al CO ₂	baja	media	baja