

Producción de silicatos solubles como una alternativa de reciclaje para el vidrio común

Mavis L. Montero
Carlos Eduardo Solano

Resumen

Se ensaya la producción de silicatos solubles de uso industrial a través de la disolución de vidrio común blanco, verde y ámbar en NaOH. Se estudia la influencia de factores como granulometría, temperatura y concentración de base en la disolución del vidrio. El análisis por rayos X y microscopía electrónica de los residuos obtenidos en la reacción explica los valores de la relación molar $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ obtenidos.

Abstract

The production of soluble silicates for industrial usage through the dissolution in NaOH of white, green, and amber glass is investigated. The influence of factors like granulometry, temperature and base concentration in glass dissolution is studied. The X ray and electronic microscopy analysis of the residuals obtained in the reaction explains the value of the molar ratio $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ obtained.

Palabras claves: Reciclaje, vidrio, silicatos solubles.

Introducción

El medio ambiente es tanto proveedor de recursos como receptor de emisiones. Los recursos naturales son necesarios para la elaboración de bienes y proveer los servicios que las sociedades necesitan. Sin embargo, el proceso de extracción de materias primas de la naturaleza, su transformación en productos útiles y su transporte a los mercados genera desechos. De esta forma el medio ambiente no solo provee bienes y materiales para la economía, sino que los recibe en forma de desechos o residuos¹.

La fabricación de vidrio en nuestro país se centra en la producción de vidrio plano o tensado y envases a cargo de la Vidriera Centroamericana S.A. (VICESA). Dicha empresa produce aproximadamente 100 millones de toneladas anuales de vidrio, el 75% de las cuales se exportan,

¹ Escuela de Química, Universidad de Costa Rica.

principalmente a Estados Unidos, el Caribe, México y el resto de Centroamérica. El vidrio ha sido reutilizado a través del tiempo debido al ahorro de energía, ya que cuando ha sido trabajado necesita menor temperatura a la hora de fundirse de nuevo; además ayuda a fundir más rápidamente la mezcla base, todo esto sin afectar la calidad de la mezcla final. Además, por cada tonelada de vidrio reciclado usado se ahorrarán 1,2 toneladas de materia prima virgen.

VICESA tiene un programa de reciclaje de vidrio que involucra desde la recolección y clasificación por colores y tipos de vidrio. Sin embargo la reutilización del vidrio recolectado no consume los cientos de toneladas de vidrio acu-

muladas en los patios de la empresa, especialmente los vidrios coloreados como ámbar o verde, más difíciles de incorporar al proceso de reciclaje².

El vidrio común está compuesto principalmente por sílice, óxido de sodio y óxido de calcio (Tabla 1). Una alternativa interesante de reciclaje es la formación de un producto de uso industrial como los silicatos solubles, llamados vidrio soluble o “water glass”. Este es un líquido viscoso utilizado en grandes cantidades por las industrias de detergentes y de cerámicas, y está compuesto por una mezcla de distintos silicatos alcalinos solubles en agua, siendo ideal para uso industrial una solución con una relación de $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ de 2 a 1^(3,4).

En este trabajo se pretende estudiar la conversión de vidrio común en vidrio soluble de uso industrial, disolviendo este en una disolución de NaOH. Se estudian para esta reacción factores como la concentración de la base, la granulometría, el efecto de la temperatura sobre tres tipos de vidrio: ámbar, verde y blanco.

Tabla 1
Composición del vidrio común.

	Vidrio Blanco	Vidrio Verde	Vidrio Ámbar
SiO_2	73,0	72,0	72,8
Al_2O_3	1,5	2,6	0,7
CaO	11,3	11,4	8,7
MgO	0,1	0,1	3,6
Na_2O	13,0	12,5	13,7
K_2O	1,0	0,5	0,2
Fe_2O_3	0,04	0,5	0,1
Cr_2O_3	-	0,2	-

Tabla 2
Relación $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ para tres tamaños de partículas tratadas con dos distintas concentraciones de base.

Poros del tamiz (mm)	Disolución A Razón(m/m) $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$	Disolución B Relación $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$
0,13	1,46 ± 0,03	1,29 ± 0,04
0,30	1,20 ± 0,03	1,10 ± 0,03
0,83	0,93 ± 0,03	0,83 ± 0,02

Desarrollo experimental

Procedimiento 1

Vidrio molido (60 g) pasado a través de tamices, con un tamaño de poro de 0,13 mm, 0,30 mm y 0,83 mm fue mezclado con dos distintas disoluciones: A) disolución que contenía 40 g de NaOH (1+1) y 100 g de agua y B) disolución que contenía 60 g de NaOH (1+1) y 80 g de agua. Nótese que las masas totales son de 200 g en todos los casos.

Estas mezclas fueron refluadas a presión normal por 6 horas. Las disoluciones se filtraron y se obtuvieron volúmenes de 125 a 130 ml de un líquido viscoso y transparente. Se analizó la relación $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ para cada muestra (Tabla 2).

Procedimiento 2

Vidrio molido blanco, ámbar y verde (60 g) pasado a través de tamices con un tamaño de poro de 0,30 mm y 0,83 mm, fue mezclado con una disolución que contenía 40 g de NaOH (1+1) y 100 g de agua. Nótese que las masas totales son de 200 g en todos los casos.

Estas mezclas fueron calentadas bajo agitación a 150 °C y 200 °C durante 6 horas en un minireactor. Las disoluciones se filtraron y se obtuvieron volúmenes de 125 a 130 ml de disoluciones viscosas, transparentes o ligeramente amarillentas para el vidrio blanco ámbar, y verdosas, para el vidrio verde. El

análisis de cromo mostró concentraciones menores a 10 mg/kg para las disoluciones provenientes del vidrio blanco y ámbar. Las disoluciones provenientes del vidrio verde poseen concentraciones de 130 mg/kg en cromo. Se analizó la relación $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ de todas las disoluciones. Tablas 3 y 4.

Residuos sólidos

Los sólidos residuales, producto de la disolución del vidrio, son de color blanco en todos los casos y con una masa de alrededor de 25 g. Estos fueron lavados con abundante agua hasta que el pH fue neutro y se secaron. Se analizaron por microscopia de barrido (SEM) microanálisis (EDS) y difracción de rayos X. Fig. 2, 3 y 4.

Métodos de análisis

La determinación de sílice se realizó por espectrofotometría visible a una longitud de onda de 700 nm, utilizando el método indirecto, donde se produce el complejo coloreado silicomolibdeno amarillo (con 15 ml de las soluciones producidas, 5 ml de molibdato de amonio), que es reducido con sulfito de sodio al 10% (10 ml y se afora a 50 ml) para dar una coloración azul. Para la curva de calibración se realizó el mismo procedimiento con los patrones de SiO_2 . Para determinar la alcalinidad se valoraron disoluciones de los productos. Se midió una determinada masa de las disoluciones y se valoró con HCl ($0,1043 \pm 0,0006$ mol/L), usando fenofaleína como indicador.

Estos procedimientos se realizaron para todos los productos por triplicado.

Las muestras de los sólidos residuales se observaron en un microscopio electrónico de barrido (MEB) de bajo vacío Jeol JSM-5900LV sin preparación alguna, el análisis químico elemental se realizó por

Tabla 3
Relación $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ para tres tipos de vidrio molidos a un tamaño de poro del tamiz de 0,83 mm y disueltos en base a dos temperaturas diferentes.

Tipo de vidrio	Temperatura: 150 °C	Temperatura: 200 °C
	Razón(m/m) $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$	Razón(m/m) $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$
Blanco	1,41 ± 0,03	1,55 ± 0,04
Ámbar	1,39 ± 0,03	1,53 ± 0,03
Verde	1,40 ± 0,03	1,51 ± 0,03

Tabla 4
Relación $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ para tres tipos de vidrio molidos a un tamaño de poro en el tamiz de 0,30 mm y disueltos en base a dos temperaturas diferentes.

Tipo de vidrio	Temperatura: 150 °C	Temperatura: 200 °C
	Razón(m/m) $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$	Razón(m/m) $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$
Blanco	1,50 ± 0,03	1,57 ± 0,03
Ámbar	1,49 ± 0,03	1,56 ± 0,04
Verde	1,51 ± 0,03	1,55 ± 0,03

espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDS), con un detector marca Oxford, a las diversas morfologías encontradas.

Las muestras se analizaron también en un difractómetro de polvos de rayos X marca Siemens, modelo D5000.

Discusión

Al observar la tabla 2 es claro que ninguno de los ensayos logró la relación ideal de 2 a 1 $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$. La más cercana es la mezcla donde se emplea el tamaño de partícula más pequeño y la concentración de base menor. Esto indica, primeramente, la importancia del tamaño de la partícula en la disolución, cuanto más pequeña más fácil su disolución y segundo que la concentración de base juega un papel menos relevante de lo esperado. La mayor concentración de base no produjo una mayor disolución del vidrio; de hecho, la relación de $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ bajó al haber un exceso de base.

No se eligió el tamaño de 0,13 mm para continuar el experimento ya que su tamaño tan pequeño trae problemas de manejo, debido a su fácil aspiración y consecuentes repercusiones en la salud. Se escogió la disolución A para ensayar la disolución de los tres tipos de vidrio blanco ámbar y verde a dos diferentes temperaturas y granulometría.

Al comparar los datos de las tablas 3 y 4 con los de tabla 1, se establece una clara diferencia al aumentar la temperatura en la relación $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$; siendo mayor a mayor temperatura.

La tabla 3 contiene los datos de la relación $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ para el vidrio de mayor tamaño de partícula, donde se observa un cambio significativo en la disolución de los distintos vidrios, al

pasar de 150 °C a 200 °C; siendo la más alta alcanzada $1,55 \pm 0,04$.

Para el vidrio más finamente dividido, el aumento en la temperatura trae un incremento en la razón $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$, aunque este aumento no es tan marcado como para el vidrio de granulometría mayor.

Al comparar la razón $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ para las dos distintas granulometrías a 200 °C, no se marca una diferencia significativa. La disolución del vidrio no es tan fuertemente determinada por el tamaño de partícula al aumentar la temperatura. Una propiedad importante de las disoluciones obtenidas es su color. Las disoluciones provenientes del vidrio verde son coloreadas por la presencia de cromo, como lo indican los análisis. Esto implicaría que para usar estas disoluciones es necesario hacer algún tratamiento extra para su decoloración.

Por último, en ningún momento se alcanzó la razón $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ ideal de 2 a 1. Bajo las condiciones ensayadas la mayor razón alcanzada es de $1,57 \pm 0,03$ a 1, la cual es una disolución comercialmente utilizable.

Para buscar una explicación de este límite en la disolución, se analizaron por SEM, EDS y rayos X los residuos propios de la reacción. Los resultados fueron idénticos para los tres tipos de vidrio, por lo que se escogió uno de cada uno de ellos. El EDS (Fig.1) muestra la presencia de silicio, calcio y oxígeno en mayor grado, y aluminio e hierro en menor grado. Los rayos X (Fig. 2) indican la presencia de un aluminosilicato de sodio (analcina) y un silicato de calcio y sodio (pectolita). Estas sustancias son insolubles en el medio de reacción y se cuestran una parte del SiO_2 componente del vidrio. Recordemos que el CaO y el Al_2O_3 son parte de la composición del vidrio. La foto de SEM (Fig. 3) muestra

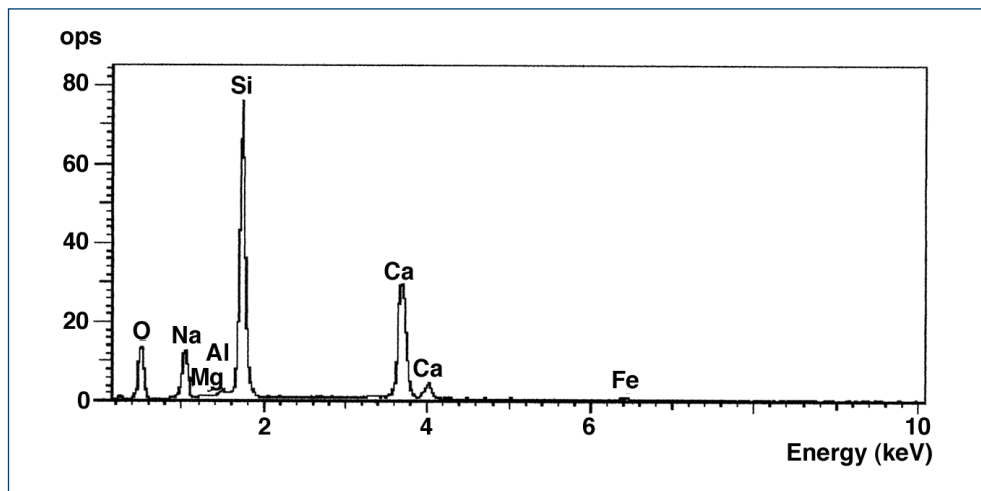


Figura 1
Microanálisis del sólido residual producto de la disolución del vidrio blanco.

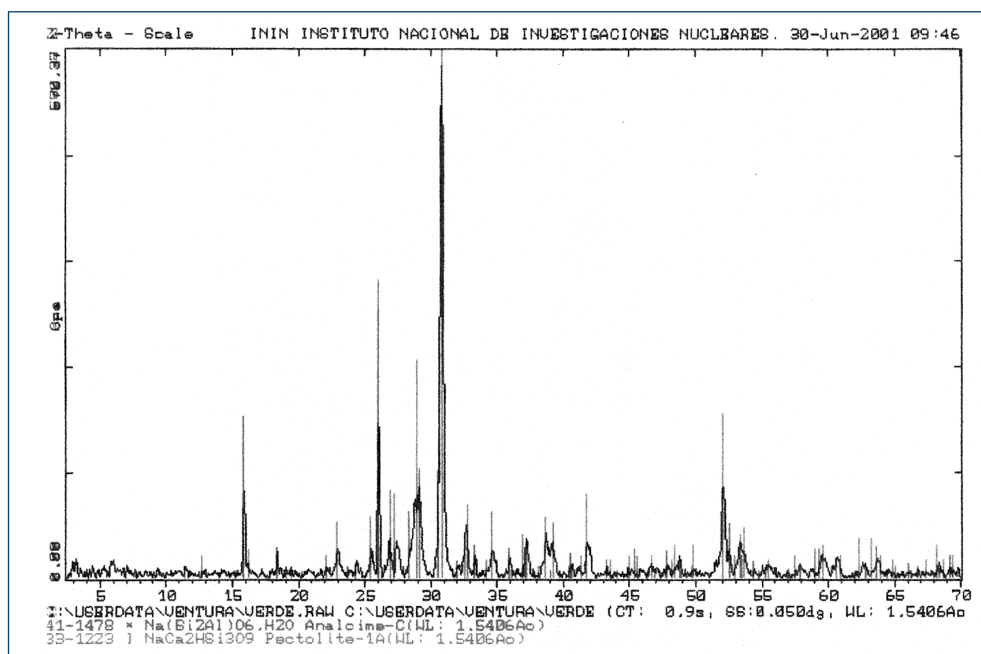


Figura 2
Difractograma de rayos X para el sólido residual producto de la disolución del vidrio verde.

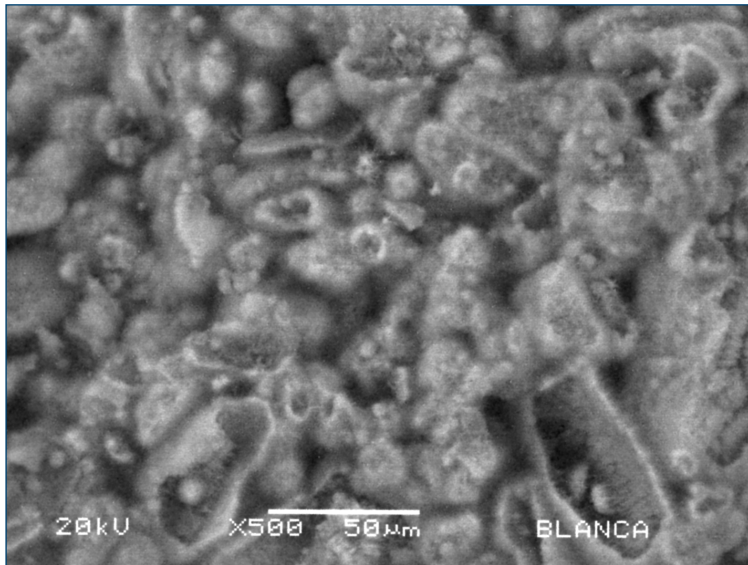


Figura 3
Fotografía de SEM del sólido residual producto de la disolución del vidrio blanco.

la cristalinidad de los residuos de la reacción, donde se observan agujas muy finas.

Conclusiones

La producción de silicatos solubles a partir de vidrio común es posible. Esta reacción produce soluciones cuya relación $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ de acuerdo con el tamaño de la partícula a la cual se haya molido el vidrio. La disolución del vidrio y el consecuente aumento en la relación $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ crece con la temperatura. La

influencia de la granulometría en la disolución del vidrio se hace menor a mayor temperatura.

La relación $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ mayor alcanzada fue de 1,57 a 1 la cual es una disolución comercialmente utilizable. El vidrio verde produce disoluciones coloreadas, mientras las disoluciones del vidrio ámbar y blanco no lo son.

La razón para este límite en la disolución puede deberse a la formación de silicatos de aluminio y calcio insolubles en el medio de reacción.

Bibliografía

- 1) National Pollution Prevention Center for Higher Education. *Reducing Resource Use and Waste per Unit of Production*. Michigan, 1998.
- 2) Comunicación personal con la empresa.
- 3) Büchner, W. et al. *Industrial Inorganic Chemistry*. VCH, Alemania, 1989.
- 4) Kirk-Othmer. *Encyclopedia of chemical Technology*, 3rd Ed., Vol 20. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICIT) por el financiamiento. Al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México donde fueron realizados los EDS, SEM y Rayos X. Al MsC Alejandro Sáenz por su apoyo.