

Linea ambiental de la educación química. Se presentan la descripción y conclusiones de un trabajo de tesis de licenciatura que ha sido merecedor de diversos premios en México.

Reutilización de residuos ácidos de cromo: una metodología aplicable en ámbitos académicos e industriales

María del Carmen Bazúa-Durán*

Abstract

This paper presents the results obtained from the physical and chemical characterization and recycling of 1,400 L of hexavalent chromium liquid residues stored in metallic containers located at the parking space of a school of chemistry in Mexico City, and represents an example of how ingenuity and creativity may render positive assets to stabilize hazardous residues. These liquid residues were treated with potash, filtered, concentrated, and dehydrated to produce chromate with a minimum purity of 95%. The remained solid formed by trivalent chromium and iron hydroxides was stabilized by heating at 1,000 °C to convert it into oxides. The chromate obtained (100 kg) can be used in teaching and research laboratories as industrial grade reagent. The process becomes profitable when the costs for sending this hazardous wastes to the nearest available site (at about 1,000 km from the source) are considered.

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización física y química y el reaprovechamiento de 1,400 L de residuos líquidos de cromo hexavalente que estaban almacenados a la intemperie en contenedores metálicos ubicados en el estacionamiento de una escuela de química, en la ciudad de México. Se trata de un ejemplo de lo que puede hacerse para, aplicando el ingenio y la creatividad, estabilizar residuos peligrosos. Los residuos se hicieron reaccionar con potasa en escamas y la suspensión resultante fue filtrada con la subsecuente evaporación a sequedad de la disolución para producir cromato con un mínimo de 95% de pureza. El sólido filtrado formado por hidróxidos de cromo trivalente e hierro fue tratado en un horno a 1,000 °C para estabilizarlo en forma de óxidos inertes. El cromato obtenido (100 kg) puede utilizarse en los laboratorios de enseñanza e investigación como reactivo grado industrial. El proceso es rentable cuando se conside-

ran los costos por disposición en el sitio de confinamiento controlado más cercano (ubicado a 1,000 km de la fuente).

Introducción

Entre 1992 y 1994 se realizó la estabilización y disposición de unos residuos líquidos peligrosos de cromo depositados en tanques metálicos ubicados en el exterior de una escuela de química en la ciudad de México. Estos tanques contenían una disolución de cromo hexavalente que era utilizada como baño para la electrodeposición de cromo reducido sobre superficies metálicas y fueron donados por una compañía dedicada al cromado de válvulas para motores de combustión interna. La causa aparente de que se haya realizado esta donación fue que la empresa modificó las especificaciones de su proceso y, por ello, dicho baño ya no cumplía con las características que requería el nuevo método. Esta compañía supuso que, debido al alto contenido de cromo hexavalente que la disolución tenía, la escuela de química podría hacer buen uso de ella dentro de sus laboratorios, ya fuera como se encontraba u obteniendo productos derivados.

De acuerdo con el *Diario Oficial de la Federación* (México) las soluciones con contenido de cromo hexavalente provenientes de los acabados metálicos y galvanoplastia se consideran residuos peligrosos del tipo RP1.1/07 (Sedesol, 1993), ya que los efectos tóxicos del cromo están relacionados con su estado de oxidación, considerando que la forma trivalente es menos peligrosa y la forma hexavalente es tóxica (Lester, 1987).

Actualmente, México enfrenta serios problemas ambientales en un momento en que la situación económica no permite aplicar las soluciones instrumentadas en países desarrollados (Gutiérrez *et al.*, 1991). Por ello, una de las alternativas que se ofrecen para resolver estos problemas es la implantación de "tecnologías más limpias", en las cuales se minimizan la generación de residuos, gasto de agua y consumo de energía, y los residuos se estabilizan al convertirlos a formas del tipo de las que existen en la naturaleza para, posteriormente, ser asimilados en los ciclos naturales (Gutiérrez *et al.*, 1991). Entonces,

*PIQAYQA, Facultad de Química, Edif. E-L-301, UNAM, 04510 México, D.F.

*Recibido: septiembre 1, 1995; Aceptado: julio 17, 1996.

para disponer de este residuo peligroso, era necesario encontrar una solución viable de su reutilización, enfocada a minimizar su impacto al ambiente, y evitando al máximo su disposición por confinamiento controlado (método de disposición más generalizado a nivel mundial para este tipo de residuos peligrosos).

Materiales y métodos

Se procedió a tomar muestras de los siete tanques con capacidad de 200 L que contenían en disolución especies de cromo hexavalente. Mediante un análisis cualitativo y cuantitativo se encontró que cuatro tanques contenían ácido crómico diluido y otros tres cromato de sodio. Dichos residuos tenían Cr(VI) reaprovechable en forma de cromato,¹ el cual podía ser utilizado para producir sales de cromato grado industrial. Las impurezas encontradas fueron, principalmente, hierro y cromo trivalente en disolución. En la tabla 1 se ilustran los resultados obtenidos para tres de las muestras tomadas.

Tabla 1. Resultados del análisis cuantitativo.

Parámetro	Muestra		
	1	2	3
pH	11.09	3.48	2.44
[Cr ₂ O ₇ ²⁻] (M)	—	0.2100	0.8017
[CrO ₄ ²⁻] (M)	1.2150	—	—
[SO ₄ ²⁻] (M)	despreciable	despreciable	despreciable
% Fe total	—	1.4	1.96
[Cr ³⁺] (M)	—	0.38	0.20
[K] (ppm)	< 6	< 6	< 6
[Na] (ppm)	> 12	> 12	> 12

Una vez conocidas las características físicas y químicas de la disolución a tratar, se desarrolló un proceso (Bazúa-Durán, 1994) mediante el cual se

(1) El ion Cr(VI) forma especies que dependen del valor del pH del medio. A valores inferiores a 1 la especie principal es el ácido crómico (H₂CrO₄). A valores comprendidos entre 2 y 6 aproximadamente, existe un equilibrio entre el ion cromato ácido (HCrO₄⁻) y el ion dicromato (Cr₂O₇²⁻), de color naranja. En soluciones básicas y a valores superiores a 6, el trióxido de cromo (CrO₃), sólido rojo, al disolverse en agua forma el ion cromato, tetraédrico y de color amarillo (CrO₄²⁻) (Ringboom, 1979).

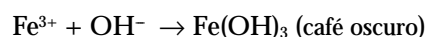
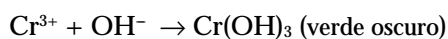
podieran recuperar en forma de cromato las especies de Cr(VI) contenidas en los tanques. Este proceso consistió en la separación de las impurezas de hierro y cromo trivalente en forma de hidróxidos (cuya máxima precipitación se obtuvo a un valor de pH de 10, a pesar de que no era el valor teórico de máxima precipitación), con la subsecuente estabilización del sólido residual al transformarlo a óxidos diversos (figura 1). La alcalinización del contenido de los tanques de ácido crómico diluido se hizo con potasa, basándose en la higroscopicidad de las sales de sodio y de potasio (siendo las de potasio menos higroscópicas).

Para llevar a cabo la separación, estabilización y obtención de un producto de Cr(VI) reutilizable, se realizaron las siguientes operaciones (figura 2).

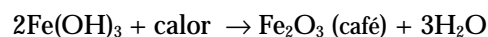
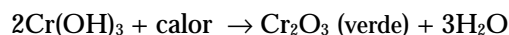
1. Alimentar al reactor de tanque agitado de acero inoxidable la disolución de ácido crómico.
2. Agitar constantemente agregando la potasa (KOH) en escamas hasta un valor de pH de 10 (se adicionó en escamas para evitar un incremento en la cantidad de agua).



3. Dejar precipitar un sólido de color verde oscuro conteniendo las impurezas de hierro y cromo trivalente en forma de hidróxidos.



4. Filtrar la mezcla anterior con un filtro-prensa para obtener una disolución amarilla de cromato de potasio y un sólido residual.
5. Evaporar la disolución amarilla de cromato hasta sequedad para obtener, como producto final, cristales de cromato de potasio.
6. Secar los cristales de cromato de potasio en un horno secador al vacío.
7. Calentar el sólido residual en un horno a 1,000 °C durante 3-4 horas para transformarlo a óxidos diversos y espinelas (cromita), de coloración negra. Estos sólidos son sumamente estables, por lo que pueden ser utilizados como materia prima en la fabricación de tabiques refractarios o semirrefractarios de cromita.



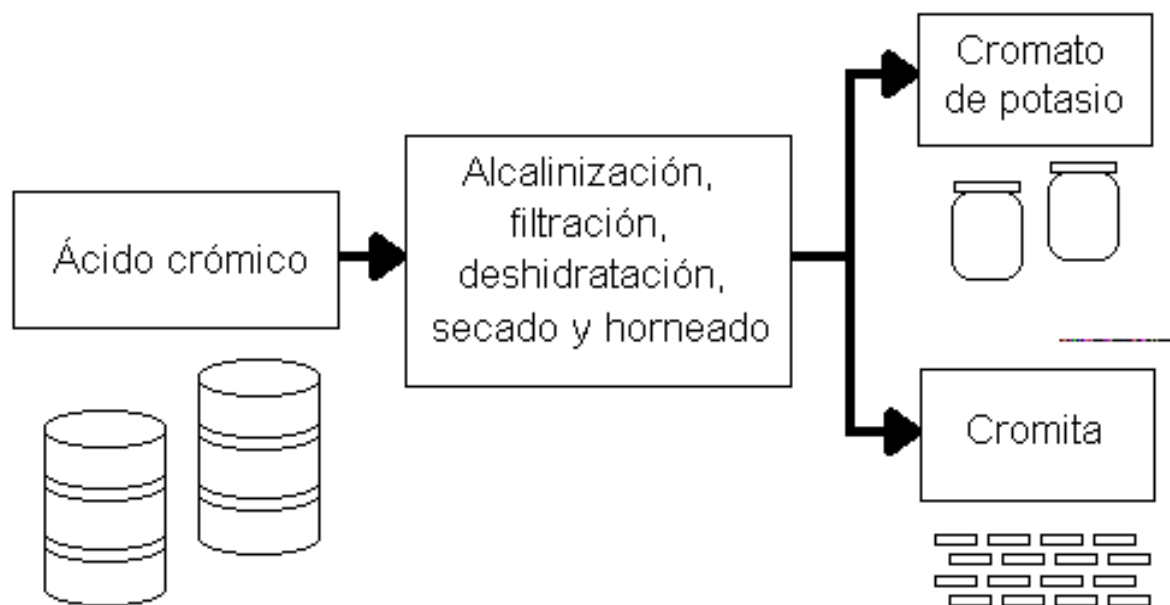


Figura 1. Esquema general del proceso de recuperación.

Los tanques que contenían cromato de sodio fueron procesados de manera similar para recuperar el cromato de sodio y estabilizar las impurezas como óxidos.

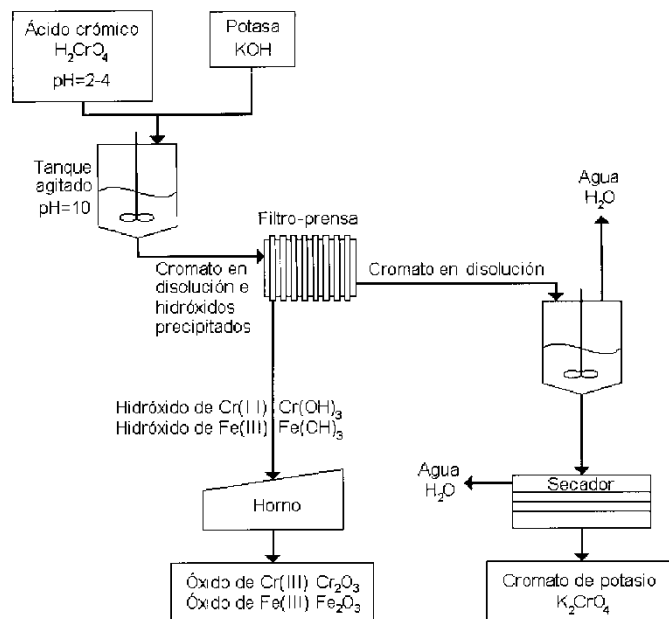


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de recuperación.

Para realizar dichas operaciones y disminuir el tiempo de ejecución se adecuaron los equipos de operaciones unitarias existentes en un laboratorio de docencia en ingeniería química.

Finalmente, los cromatos fueron envasados y etiquetados por separado en frascos de vidrio y el sólido residual fue enviado a un laboratorio para el estudio de la fabricación de tabiques.

Resultados y discusión

Una vez que se obtuvieron los productos finales, éstos fueron analizados para determinar su composición. Al sólido residual se le realizó una difracción de rayos X, corroborando que se encontraba formado principalmente por óxidos de cromo trivalente e hierro. A los cromatos, además de la difracción de rayos X se les determinó la cantidad de cromo trivalente existente, determinándose que ambos cromatos contenían menos del 5% del cromo total como cromo (III) y el resto era cromo (VI) en forma de cromato.

Del procesamiento del residuo líquido peligroso se obtuvieron 43 kg de cromato de sodio y 57 kg de cromato de potasio, así como 48 kg de óxidos a partir de 135 kg de hidróxidos. Una pureza del 95% para los productos de cromato indica que se produjo un reactivo químico de grado industrial.

Así, los residuos líquidos altamente corrosivos y tóxicos fueron transformados en cromato de potasio, cromato de sodio y un residuo sólido estable que puede ser utilizado como materia prima de tabiques.

Se evaluó en forma simplificada el costo de estabilización y se comparó con el de disposición en un sitio de confinamiento controlado para determinar la viabilidad de la tecnología propuesta a mayor escala (Bazúa-Durán, 1994). Los resultados obtenidos (tasa interna de retorno de 0.02, la cual es aceptable para un proceso químico, como éste de recuperación de un compuesto potencialmente peligroso), indican que esta tecnología es económicamente factible (Peters y Timmerhaus, 1980).

Conclusiones

Se desarrolló una solución prototipo que puede aplicarse a otros residuos peligrosos generados (muy diversos y en cantidades variables) y ser instrumentada, ya sea como prácticas de laboratorio en la docencia de esta escuela de química debido a que incluye pasos químicos de óxido-reducción, sustitución, etcétera, y procesos de separación, o como la base para empresas que se dediquen a la estabilización y disposición de residuos peligrosos industriales.

Puede concluirse que esta clase de tecnologías muestran la importancia de la química en el campo de la conservación del ambiente, logrando procesos económicamente viables. El análisis de prefactibilidad arroja una tasa interna de retorno aceptable para un proceso de recuperación de un residuo originalmente peligroso, evitando así su envío a sitios de confinamiento controlado.

Para que la sociedad en general y los industriales o procesadores en particular, tiendan a la creación de procesos "más limpios" y a la reutilización de desechos, es necesario crear una conciencia ecológica. Esto, evidentemente, requiere de mucho tiempo. Por ello, al corto plazo, una opción puede ser la de estabilizar los residuos e incluso generar subproductos útiles para hacer procesos de estabilización atractivos a los responsables de su generación y, consecuentemente, de su tratamiento y disposición. ▣

Agradecimientos

Se agradece especialmente la supervisión de este proyecto por parte de la M. en C. Margarita Gutiérrez y la Dra.-Ing. Carmen Durán, así como el apoyo de laboratorio en la fase inicial del Ing. Juan Mata. Asimismo, se agradece al personal de la Facultad de Química de la UNAM, especialmente al del Laboratorio de Ingeniería Química, al de la Secretaría Administrativa y a la M. en C. Margarita Portilla, así como al del Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM, su apoyo logístico y analítico. También se agradece la realización de análisis por parte de la Q. Susana Santiago (del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM) y del Dr. Rufino Lozano (del Instituto de Geología, UNAM). Por último, se agradecen las donaciones del Sr. Manuel Delgado y Herdez, S.A. de C.V., así como el apoyo económico brindado por la DGAPA, UNAM y el subprograma 127 ("Formación básica para la investigación") de la Facultad de Química.

Bibliografía

- Bazúa-Durán, M.C., *Reutilización de residuos ácidos de cromo: una tecnología limpia*, Tesis profesional, Facultad de Química, UNAM, México, D.F. 1994.
- Gutiérrez, M.E., Bazúa, E.R., González, M.L. y Villalobos, M., "Estabilización y fabricación de ladrillos", en *Premio Nacional SERFIN. El Medio Ambiente*, Futura Editores, S.A. de C.V., Villa Nicolás Romero, Mex., 1991, p. 19-20.
- Lester, J.N., *Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes*, en vol. 1. "Sources, analysis, and legislation", CRC Press, Inc. Boca Ratón, Florida, EUA, 1987, cap. 1, 2, 4, 5 y 6, p. 16-17, 31-63.
- Peters y Timmerhaus, *Plant design and economics for chemical engineers*, 3ra. ed., McGraw Hill, Inc., EUA, 1980, p. 188.
- Ringboom, A.J., *Formación de complejos en química analítica*, Alhambra, S.A. Madrid, España, 1979, 343 pp.
- Sedesol, *Diario Oficial de la Federación*, 22 de octubre, 1ª sección. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. *Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental*, México, D.F., 1993, p. 4-7.