



ELIMINACIÓN DE ESTRONCIO RADIOACTIVO CON UNA MEZCLA DE ADSORBENTES SINTÉTICOS

Verónica E. Badillo Almaraz, Carmen López, Juan Vidal

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Carr. México-Toluca S/N, La Marquesa,

Ocoyoacac, Edo. de México, veronica.badillo@inin.gob.mx

Introducción

La energía nucleoelectrónica es económicamente competitiva y sin emisiones de gases de efecto invernadero. En nuestro país, la producción de energía nuclear, utilizada conjuntamente con otras formas de energía para la producción de electricidad contribuye a asegurar el suministro nacional de electricidad. Según cifras de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en México 41.68% de la energía eléctrica se genera por hidrocarburos, 31.07% de productoras independientes, 11.43% de centrales hidráulicas, 7.92% del carbón, 4.56% de nuclear, 3.24 por geotermia y 0.109% de eólica. La energía nuclear se obtiene mediante la fisión nuclear (rompimiento del núcleo), así como mediante la fusión nuclear (unión de núcleos). La fisión es la que se emplea actualmente en las centrales nucleares utilizando uranio enriquecido en ^{235}U como combustible para producir calor. La irradiación de los combustibles en el seno del reactor dura tres años y conduce a la formación de radionúclidos muy variados, resultado de las reacciones de fisión o de captura de neutrones en las que se ven implicados los núcleos pesados (uranio y plutonio), y en menor proporción por la activación de otros elementos presentes en el combustible o en las estructuras que lo rodean [1]. Estos son los llamados desechos radiactivos que contienen radionúclidos activados de los materiales estructurales, del moderador y del refrigerante; productos de corrosión; y contaminación de productos de fisión procedentes del combustible. Los métodos aplicados para el tratamiento y acondicionamiento de desechos producidos en centrales nucleares han alcanzado



actualmente un elevado grado de eficacia y fiabilidad y se están desarrollando aún más para mejorar la seguridad y la economía del sistema completo de gestión de desechos. De entre los métodos de tratamiento y acondicionamiento de líquidos que están contaminados con productos de fisión procedentes de circuitos que contienen refrigerante líquido, la remoción de radionúclidos en fases adsorbentes o resinas inorgánicas es de los más utilizados [2]. En este trabajo de investigación se realiza la eliminación de estroncio radioactivo, ^{87m}Sr , un homólogo del ^{90}Sr , producto de fisión de vida media larga, utilizando una mezcla de dos adsorbentes sintéticos, alúmina e hidroxiapatita. La eliminación del estroncio se estudió en función del pH de la solución de NaCl 0.02M, utilizando la técnica de trazadores radioactivos con el isótopo ^{87m}Sr , producido por irradiación de neutrones en el Reactor TRIGA MARK III del ININ.

Materiales y Métodos

Para evaluar la conveniencia de utilizar sólidos como son los óxidos de cationes polivalentes y fosfatos como posibles minerales presentes en las barreras de ingeniería en la retención de radionúclidos, específicamente de los productos de fisión divalentes, es indispensable conocer la afinidad que poseen expresada en términos de los coeficientes de distribución (Kd), a partir de su homólogo radioactivo ^{87m}Sr (producido en el reactor TRIGA MARK). En este trabajo de investigación se utilizó una mezcla de dos adsorbentes sintéticos, la hidroxiapatita comercializada por BIO-RAD $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ y la alúmina comercializada por Fluka Al_2O_3 , ambos considerados intercambiadores de iones y mezclados en diferentes proporciones.

Preparación de suspensiones. El protocolo experimental para el estudio de la retención del Sr(II) en la mezcla de adsorbente (hidroxiapatita y alúmina), se divide en dos etapas: la primera destinada a la preparación de suspensiones y ajuste del valor de pH de la



solución; la segunda destinada al marcado de las suspensiones con el radiotrazador y al análisis radioquímico del sobrenadante en el tubo de centrifugación. Una masa de 0.1 g de sólido (en tres proporciones de alúmina e hidroxiapatita 30/70, 50/50 y 70/30 respectivamente) se coloca en un tubo de policarbonato de 50 mL y se dispersa por agitación en un volumen de 25 mL de solución salina NaCl 0.02M. El ajuste de pH se ha efectuado al agregar micro-volúmenes variables de NaOH en cada tubo. Las cantidades de base que se agregan se han determinado a partir de curvas de titulación de la mezcla hidroxiapatita-alúmina en la solución salina de trabajo. Las suspensiones se colocan en un agitador de 360° de rotación a 8 r.p.m. para su completa homogeneización. El tiempo de agitación se definió en función del valor de pH al equilibrio. Una vez que éste valor fue constante, se procedió al marcado de la solución con una alícuota de 100 μ L de la solución que contiene el radionúclido. La misma operación se realizó en cuatro tubos los cuales contenían únicamente 25 mL de solución salina que fue NaCl 0.02M con el fin de conocer la actividad total de la solución marcada **A°**. Después de agregar el radionúclido a las suspensiones, éstas se agitaron nuevamente durante algunas horas en el agitador. Luego se centrifugan para lograr la separación de las fases, se toman alícuotas de 1 mL del sobrenadante con una pipeta Eppendorf, calibrada con anterioridad y se procede al análisis de la actividad contenida en ellas **A**.

Producción del Radionúclido ^{87m}Sr . El estroncio tiene cuatro isótopos naturales estables: Sr-84 (0.56%), Sr-86 (9.86%), Sr-87 (7.0%) y Sr-88 (82.58%). Únicamente el isótopo Sr-87 es radiogénico, producto de la desintegración de [rubidio-87](#). Por tanto, el Sr-87 puede tener dos orígenes: el formado durante la síntesis nuclear primordial (junto con los otros tres isótopos estables) y el formado por el decaimiento del rubidio. Se conocen dieciséis isótopos radioactivos. El más importante es el Sr-90, con un [periodo de semi-desintegración](#) de 28.78 años, producto de fisión formado en la fragmentación del ^{235}U y que representa un importante riesgo sanitario ya que sustituye con facilidad al calcio en



los [huesos](#) dificultando su eliminación. Sin embargo, para estudiar el comportamiento de éste producto de fisión en los sólidos modelo propuestos, presenta una dificultad su vida media larga. Por lo tanto, para poder ser utilizado en un laboratorio de investigación, se recurre a la producción del radionúclido ^{87m}Sr por irradiación neutrónica, homólogo del producto de fisión ^{90}Sr . De esta manera se obtiene el coeficiente de distribución de los iones a partir de la siguiente expresión:

$$K_d = \left(\frac{A^0}{A} - 1 \right) \cdot \frac{V}{m}$$

Donde:

- $A^0 =$ Actividad total inicial del isótopo (cpm)
- $A =$ Actividad total residual del isótopo en la fase acuosa (cpm)
- $V =$ Volumen de la fase acuosa (mL)
- $m =$ Masa de sólido utilizado (g)

Las medidas de radiactividad se determinaron utilizando un detector de estado sólido de Germanio Hiper-puro marca Canberra Modelo 7229P, acoplado a un analizador multicanal ACUSPECT-A (8k) y a una computadora personal. Los resultados se analizaron utilizando el software MCA Genie 2000 de Canberra, bajo la misma geometría. El detector fue calibrado con ^{60}Co y ^{137}Cs utilizando los fotopicos de 1172.3, 1332.5 y 661.5 KeV. Los fotopicos utilizados para realizar el análisis y obtener el área bajo la curva fueron los picos de 388 KeV para el ^{87m}Sr .

Resultados.

La siguiente figura expresa la afinidad de la alúmina-hidroxiapatita 50/50 por el Sr(II) en solución acuosa de NaCl 0.02M. El K_d es nulo en un amplio intervalo de pH, hasta valores de 9 para luego aumentar notablemente.

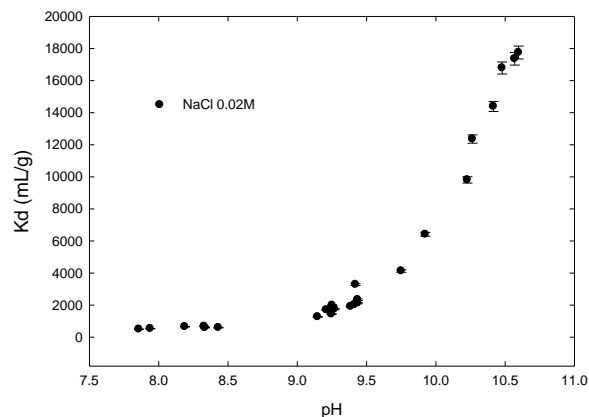


Figura 1. Coeficientes de Distribución del Sr(II) en alúmina-hidroxiapatita en función del pH de la solución

Bibliografía.

1. International Atomic Energy Agency, *“Report on Radioactive Waste Disposal”*, Technical Reports Series No. 349, IAEA, Vienna, 1993.
2. Study of sorption processes of strontium on the synthetic Hydroxyapatite O. Rosskopfová M. Galamboš, P. Rajec. *J Radioanal Nucl Chem.*, (2010)

Agradecimientos. Los autores agradecen al equipo técnico del Reactor TRIGA MARK del ININ Wenceslao Nava Solares, Margarito Alva y a los Ings. Edgar Herrera Arriaga y Fortunato Aguilar, por su valiosa colaboración en la producción de radionúclidos en el reactor.