

Evolución geoquímica de bentonita magnésica en condiciones de almacenamiento geológico profundo

Carlos Mota-Heredia (1)*, Jaime Cuevas (1), Raúl Fernández (1)

Departamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, 28040, Madrid (España)

* corresponding author: carlos.mota@uam.es

Palabras Clave: Bentonita Mg, Corrosión, Almacenamiento Geológico Profundo, Gradiente Hidrotermal.

INTRODUCCIÓN

La bentonita es un material arcilloso aceptado como barrera de ingeniería en los almacenamientos geológicos profundos (AGP) destinados a la gestión de residuos radiactivos de alta actividad (RRAA). Las condiciones a las que se somete la barrera de bentonita en un AGP son dinámicas en función del tiempo y de las condiciones ambientales en el entorno circundante. Por un lado, se estima que la superficie del contenedor metálico que encapsula los RRAA alcance temperaturas en torno a 100 °C. Por otro lado, la galería geológica en contacto con la barrera de bentonita, la hidratará alterando la composición del agua de poro en función de la naturaleza de la propia roca. Debido a los periodos de tiempo de almacenamiento, superiores a 100.000 años, se producirán cambios geoquímicos en la bentonita, especialmente en el contacto con otras barreras (cánister metálico, hormigón, roca encajante). Uno de los procesos descritos es la acumulación de Mg en las zonas más calientes del sistema una vez clausurado el AGP (Mosser-Ruck et al., 2010). En este estudio se ha empleado una bentonita enriquecida en Mg intercambiable, a fin de simular las condiciones de la barrera en un escenario de AGP avanzado tras su clausura.

METODOLOGÍA

En este estudio se han caracterizado bloques compactados (1,65 g/cm³) de bentonita FEBEX saturada en Mg (FEBEX-Mg) en celdas hidrotermales, las cuales contenían un disco de acero al carbono calentado a 100 °C, y un sistema de hidratación salina en el extremo opuesto al calentador. Además, estas celdas estaban dotadas de un circuito de refrigeración para mantener la zona opuesta al calentador a una temperatura constante de 40 °C con el fin de generar un gradiente hidrotérmico.

Se estudiaron 3 experimentos paralelos, desmantelando cada uno tras 1, 6 y 22 meses de reacción, respectivamente. Los análisis realizados incluyeron microscopía electrónica de barrido (MEB) y con detector de energía dispersiva de rayos X (EDX), difracción de rayos X (DRX), determinación de los iones solubles, el contenido en agua, el análisis del área superficial específica (SSA) y la determinación del estado redox del Fe. Se estimó la tasa de corrosión a partir de mediciones del espesor de los productos de corrosión en la superficie del acero mediante MEB-EDX.

RESULTADOS

Mientras que en los estudios a 1 y 6 meses el bloque de bentonita FEBEX-Mg permanece en estado no saturado, tras 22 meses se observó una saturación en agua aproximadamente de un 30% en peso. Los iones solubles se redistribuyeron en el agua de poro aumentando la concentración de Na⁺, Ca²⁺ y SO₄²⁻ y reduciéndose la de Fe^{2/3+} y Cl⁻, en los 3 experimentos de forma progresiva.

En general, se observó una reducción del 75–88% del SSA en la zona más caliente del bloque de bentonita, desde 79 m²/g en la bentonita de referencia hasta 5–11 m²/g en los 3 experimentos realizados. Se detectó un enriquecimiento en Fe en un espesor de bentonita hasta 1,5 mm desde el contacto con el acero. En esta interfase acero-bentonita se identificaron minerales ricos en hierro como magnetita, maghemita, hematita, lepidocrocita, green rust, siderita y ankerita, así como la formación de di-tri ferri-sudoita. La tasa de corrosión se vio reducida en función del tiempo, desde 40 µm/año al cabo de 1 mes de reacción hasta 5 µm/año tras 22 meses.

DISCUSIÓN

De manera previsible los bloques de bentonita se hidrataron progresivamente debido al gradiente hidrotermal. La concentración de los iones solubles se vio modificada por procesos de disolución y precipitación de minerales, así como por el transporte de iones a través de la porosidad de la bentonita FEBEX-Mg.

La reducción del SSA cerca del contacto con el acero puede deberse a la modificación de la esmectita y a la formación de productos de corrosión. Estas modificaciones junto con los procesos de disolución/precipitación de minerales y el transporte de iones apoyarían los resultados obtenidos de formación de minerales ricos en Fe, detectados por DRX y MEB-EDX.

La reducción de la tasa de corrosión en función del tiempo se debe principalmente a la formación rápida de una capa de corrosión inicial. Esta capa inicial, ralentiza la velocidad de corrosión de las capas más internas del acero. Esto hace que la velocidad de corrosión disminuya con el paso del tiempo y, por tanto, se obtiene una menor tasa de corrosión a tiempos más largos de reacción.

CONCLUSIÓN

Este estudio permitió observar la buena estabilidad química de la bentonita FEBEX-Mg, limitando los cambios geoquímicos a la interfase con el acero. La evolución geoquímica de esta bentonita dio lugar a la formación progresiva de minerales ricos en Fe como la di-tri ferri-sudoita y productos de corrosión como siderita, green rust y ankerita entre otros. Estos datos pueden aportar información relevante para mejorar la precisión de los modelos geoquímicos destinados a escalar los procesos que tendrán lugar en los AGP, en una etapa avanzada tras su clausura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación de la investigación al programa Horizon 2020 de la Unión Europea (No 847593, proyecto EURAD – WP2 ACED).

REFERENCIAS

Mosser-Ruck, R.; Cathelineau, M.; Guillaume, D.; Charpentier, D.; Rousset, D.; Barres, O.; Michau, N (2010): Effects of Temperature, pH, and Iron/Clay and Liquid/Clay Ratios on Experimental Conversion of Dioctahedral Smectite to Berthierine, Chlorite, Vermiculite, or Saponite. *Clays Clay Miner.*, 58, 280–291. <https://doi.org/10.1346/CCMN.2010.0580212>.