

Estudio en MEB-EDX de la evolución temporal de bentonita MX-80 y FEBEX en contacto con acero

Carlos Mota Heredia (1*), Jaime Cuevas Rodríguez (1), Ana Isabel Ruiz García (1), Almudena Ortega Martos (1), María Jesús Turrero Jiménez (2), Elena Torres Álvarez (2), Raúl Fernández Martín (1)

(1) Departamento de Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid, 28049, Madrid (España)

(2) Departamento de Medio Ambiente. Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, 28040, Madrid (España)

* corresponding author: carlos.mota@uam.es

Palabras Clave: Bentonita, Corrosión, MEB-EDS. **Key Words:** Bentonite, Corrosion, SEM-EDX.

INTRODUCCIÓN

El almacenamiento geológico profundo (AGP) es la vía de gestión de residuos radiactivos de alta actividad (RRAA) más aceptada a nivel mundial. Para ello, se utilizan sistemas de barreras de ingeniería para contener los RRAA durante largos periodos de tiempo (10^6 años). Los residuos emiten energía en forma de calor, calentando el contenedor metálico que los encapsula y la barrera de bentonita contigua que rellena las galerías de almacenamiento. A su vez la bentonita es hidratada desde la roca en la que se han construido las galerías. En este trabajo se aborda el estudio de dos bentonitas en contacto con acero mediante el análisis de imágenes de microscopio electrónico de barrido (MEB) y análisis de energía de dispersión de rayos X (EDX).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se ha realizado usando las siguientes bentonitas:

a) MX-80, procedente de Wyoming (EEUU) es considerado el material referencia de relleno y buffer en varios países. Se caracteriza por ser una bentonita sódica con un contenido mineralógico de montmorillonita en torno a un 80 %, con cuarzo, cristobalita, feldespato-K y plagioclasas como minerales accesorios, y otros minerales como micas y calcita en menor cantidad. Además, contiene trazas de yeso, goethita, magnetita, anfíboles y pirita.

b) FEBEX, extraída del Cortijo de Archidona, en la Serrata de Níjar, Almería, España, es el material buffer de referencia para el almacenamiento geológico profundo en España. Es una bentonita Ca-Mg-Na, compuesta aproximadamente por un 90% de montmorillonita, con cristobalita, cuarzo, feldespato-K y plagioclasas, calcita y otros minerales traza incluyendo magnetita como accesorios. Para simular el contacto con el contenedor se han utilizado discos de 50 mm de diámetro y 4 mm de espesor, de acero al carbono TStE 355 EN 10028-3. La hidratación de la bentonita desde la roca se simula con una disolución sintetizada tipo Na-Cl-SO₄ a partir del estudio de la composición química del agua de poro de formaciones arcillosas de los conceptos de AGP de Suiza, Francia, Bélgica y España.

Diseño Experimental

Se han utilizado celdas hidrotermales construidas de teflón para minimizar la conductividad calórica. En la parte inferior se sitúa el calentador a 100 °C en contacto con el disco de acero, a continuación, se aloja una columna de bentonita compactada a 1,6 g/cm³ de 50 mm de diámetro y 21 mm de altura. Encima de la bentonita se coloca un disco poroso de acero inoxidable que permite la difusión homogénea de la disolución salina que se encuentra en un depósito presurizado (Fig. 1a). Las celdas están provistas de un sistema de refrigeración en la parte superior de las mismas para generar una diferencia temperatura entre el calentador y el frente de hidratación, generando un gradiente hidrotermal de 100 a 40 °C. Los experimentos se han ubicado en una cámara de guantes con atmósfera de N₂ para prevenir la exposición al oxígeno atmosférico. Se han analizado las columnas de bentonita tras 1 y 6 meses de interacción.

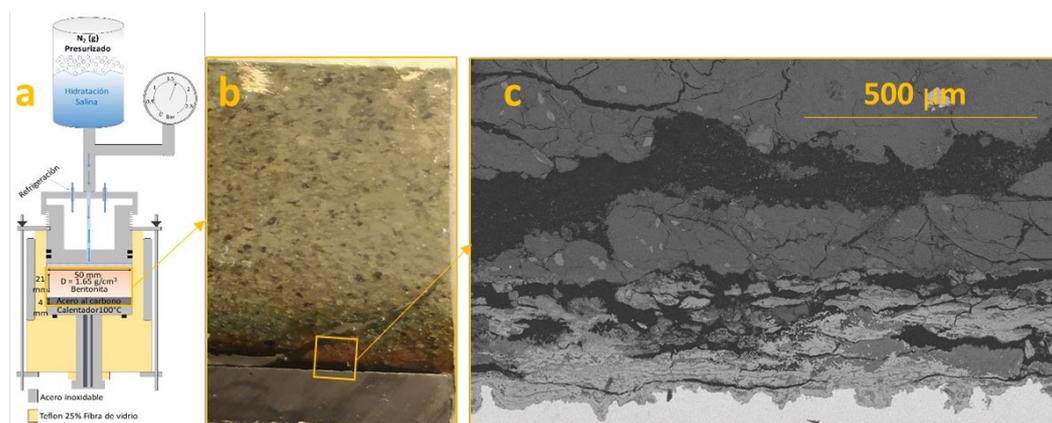


Fig 1. a) Esquema de celda experimental; b) sección para análisis MEB-EDX; c) imagen MEB de MX80 tras 6 meses de reacción.

Microscopio electrónico de barrido - energía dispersiva de rayos X (MEB-EDX)

El estudio de morfologías se ha realizado usando un equipo Hitachi S-3000N, con detector acoplado XFlash® 6130 de Bruker para análisis semi-cuantitativo EDX. Los ensayos se han realizado sobre una lámina de muestra obtenida con una cortadora de hilo de diamante Well 4240 de Well Diamond Wire Saws y con una cortadora Secotom-6 de Struers. Una vez cortadas las secciones, se han embutido y pulido para su análisis (Fig. 1b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las imágenes de MEB muestran la formación de una capa de productos de corrosión con espesores variables (Fig. 1c), en el contacto entre el acero al carbono y la bentonita. En el caso de la bentonita FEBEX, el espesor se sitúa entre 60 y 200 µm tras 1 mes de interacción, y entre 100 y 200 µm al cabo de 6 meses. Las celdas con bentonita MX-80 muestran espesores de entre 50 y 120 µm tras 1 mes de reacción, y de hasta 250 µm al cabo de 6 meses. Las zonas de interfase donde se han formado los productos de corrosión están compuestas por fases de óxidos e hidróxidos de Fe tipo goethita, magnetita, maghemita y hematites, las cuales indican la difusión de Fe en la columna de bentonita hasta el primer mm. Del mismo modo se observan concentraciones de los elementos Mg, Cl y S superiores en la interfase a las del resto de la columna de bentonita. Se observan zonas de colores rojos y verde a lo largo de la interfase (Fig. 1b), estos colores se asocian a óxidos de hierro (hematites o maghemita), e hidróxidos de hierro (goethita) (Hadi et al., 2019). La bentonita no parece sufrir cambios mineralógicos a partir del segundo mm desde el acero. Cerca del frente de hidratación se observa un ligero aumento de contenido en Cl, esto es debido a la precipitación de sales procedentes de la disolución salina.

CONCLUSIÓN

El acero al carbono seleccionado muestra una tasa de corrosión temprana rápida que decrece con el tiempo, permitiendo al acero mantener sus propiedades por largos periodos de tiempo. Debido a la formación de la costra de productos de corrosión en la superficie del acero, se favorece la difusión de Fe que enriquece la bentonita en los primeros mm en contacto con el acero, sin cambiar su composición mineralógica en el resto de la columna.

AGRADECIMIENTOS

Investigación financiada por el programa Horizon 2020 de la Unión Europea (No 847593, proyecto EURAD – WP2 ACED).

REFERENCIAS

Hadi, J., Wersin, P., Serneels, V., Greneche, J.M. (2019): Eighteen years of steel–bentonite interaction in the FEBEX in situ test at the Grimsel Test Site in Switzerland. *Clays Clay Miner.*, **67**, 111-131. DOI: 10.1007/s42860-019-00012-5.