

Cambios en la geoquímica de la bentonita compactada causados por el gradiente termohidráulico

Ana Beatriz Zabala (1), María Victoria Villar (1*), Rubén Javier Iglesias (1), Roberto Gómez-Espina (1), Jaime Cuevas (2)

(1) Departamento de Medioambiente. CIEMAT, 28040, Madrid (España)

(2) Departamento de Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid, 08049, Madrid (España)

* corresponding author: mv.villar@ciemat.es

Palabras Clave: Bentonita, Sales solubles, Gradiente térmico, Cationes de cambio. **Key Words:** Bentonite, Soluble salts, Thermal gradient, Exchangeable cations.

INTRODUCCIÓN

El almacenamiento geológico profundo (AGP) es la opción internacionalmente aceptada para la gestión final de los residuos radiactivos de alta actividad. Se basa en la interposición de una serie de barreras entre los residuos y la biosfera. Una de ellas es la barrera de ingeniería entre el contenedor y la roca, el material de sellado, para el que se ha propuesto el empleo de bentonita compactada. La barrera se saturará lentamente con el agua procedente del macizo rocoso a la vez que su temperatura aumentará considerablemente por la presencia de los residuos.

Para simular las condiciones del AGP en el laboratorio se han realizado ensayos en los cuales la bentonita compactada se aloja en celdas cilíndricas que disponen de un calentador en la base (para simular el contenedor) y de un sistema de hidratación en la parte superior de la celda. Se efectuaron dos ensayos, uno a temperatura ambiente (I40) y otro con el calentador a 100 °C (GT40), siguiendo los parámetros de referencia del concepto español de AGP en granito en cuanto a tipo de bentonita, agua y temperaturas (ENRESA 2006).

MÉTODOS Y MATERIALES

Se emplearon dos celdas cilíndricas de teflón de 40 cm de largo y 7 cm de diámetro internos, en las que se introdujo bentonita FEBEX compactada, procedente del yacimiento Cortijo de Archidona en Almería, a densidad seca 1,65 g/cm³. Está constituida en más del 90% por interestratificado montmorillonita/illita (con 10-15% de láminas de illita) y tiene contenidos inferiores al 3% de cuarzo, plagioclasa, feldespato K, calcita y cristobalita-tridimita. La capacidad de intercambio catiónico es 93 mmol(+)/100 g y los principales cationes intercambiables son calcio, magnesio y sodio (ENRESA 2006). Los ensayos duraron 12 años. Ambas celdas se hidrataron con agua granítica de baja salinidad (0,2‰), cuya composición química simula el agua que satura la barrera en un depósito excavado en roca granítica.

Al finalizar los ensayos se realizaron diversas determinaciones en muestras tomadas a lo largo de las columnas de bentonita. El contenido de sales solubles se determinó en extractos acuosos de relación S:L 1:16. La determinación de los cationes de cambio se llevó a cabo empleando una disolución de nitrato de cesio 0,5 N.

RESULTADOS POST MÓRTEM

Al final de los ensayos en ambas columnas se registró una disminución de humedad desde la parte superior a la inferior, mucho más acusada en el caso del ensayo GT40, en el que los 10 cm más próximos al calentador se mantuvieron por debajo de la humedad inicial, probablemente por fugas de vapor a través de la base de la celda. La densidad seca siguió un comportamiento inverso, ya que las partes más hidratadas hincharon considerablemente, por lo que se produjo una disminución de densidad en ellas. Los grados de saturación finales fueron inferiores al 100% (Villar et al., 2014, 2015).

Los extractos acuosos dan una aproximación a la composición del agua de poro. En las dos celdas se observó un incremento de la concentración de especies solubles Na^+ y Cl^- hacia el calentador. Este incremento fue algo más acusado en la celda GT40 ya que el gradiente térmico habría favorecido el movimiento de agua, y con ella la de estos iones hacia la base de la columna, con la excepción de la sección más próxima al calentador donde se observa un descenso de la concentración. En al menos los 10 cm más próximos a la superficie de hidratación de las dos celdas la concentración de ambos iones disminuye sustancialmente con respecto a la inicial, con el Cl^- prácticamente desapareciendo en el caso de la celda GT40. La concentración de sulfato en la zona cercana a la hidratación es también mínima. Se produce un claro incremento de concentración en la parte media de la columna, descendiendo hasta concentraciones similares a la de referencia en la zona cercana al calentador (Fig. 1). Este aumento en la parte central puede ser debido a la acumulación de sales solubles precipitadas como el yeso o la anhidrita. Por otra parte, la alcalinidad y el pH de los extractos acuosos aumentaron significativamente en las áreas hidratadas así como en el contacto con el calentador de la celda GT40.

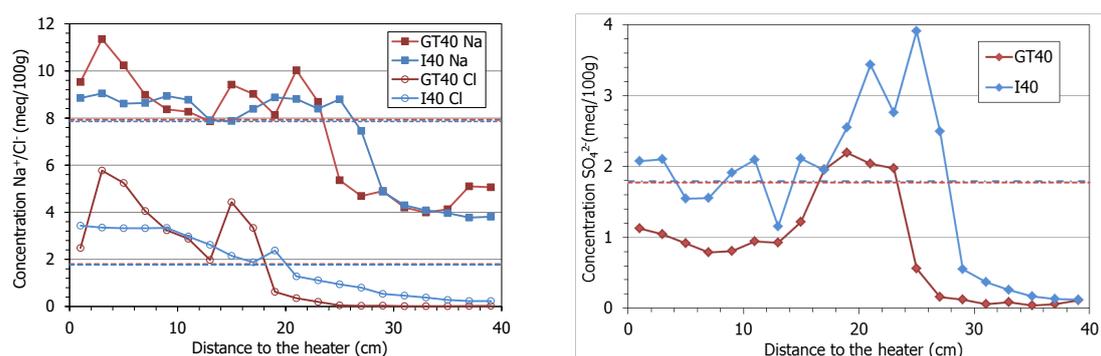


Fig 1. Concentración (a) Na^+ y Cl^- y (b) SO_4^{2-} medido en los extractos acuosos relación 1:16 (S:L) de las celdas.

El complejo de cambio de la esmectita también se vio modificado en ambas celdas. El sodio intercambiable aumentó en las áreas hidratadas en la celda GT40 y se mantuvo prácticamente constante a lo largo de toda la columna en la I40. El calcio y el magnesio intercambiables, por el contrario, disminuyeron en ambas celdas en las zonas de hidratación, especialmente este último en la GT40. En esta celda se observó también una gran disminución de magnesio intercambiable en el contacto con el calentador y un incremento llamativo en la mitad de la celda (quizá asociado a una fuga de vapor a través del orificio para la inserción de un sensor). En la celda isoterma tanto el calcio como el magnesio intercambiable aumentaron en las zonas menos hidratadas.

CONCLUSIONES

La hidratación causa la disolución de especies y su movimiento por advección, haciendo que la salinidad de las muestras más cercanas al calentador fuera mayor que la inicial debido a la concentración de las especies solubles en esta área. La disolución de especies con Na^+ en la zona más hidratada de la columna provocaría la entrada de parte de ese Na^+ al intercambiador, reemplazando Mg^{2+} , particularmente en el caso de la celda caliente. A lo largo de la columna el efecto del gradiente térmico solo parece manifestarse favoreciendo una mayor intensidad de los procesos de transporte y reacción (movimiento de especies, intercambio catiónico). Solo en la sección más próxima al calentador se aprecian claras diferencias entre las dos columnas, lo que es probablemente debido a que es la zona donde la diferencia de temperatura es más importante entre las celdas, y se alcanzan temperaturas mayores de 80 °C. A la hora de extrapolar los resultados a los de un ensayo a gran escala se debe considerar que en este prototipo se dispersa calor lateralmente, por lo que las temperaturas son menores que en el caso real.

REFERENCIAS

- ENRESA (2006): FEBEX Full-scale Engineered Barriers Experiment, Updated Final Report 1994-2004. Publicación Técnica ENRESA 05-0/2006, Madrid, 590 p.
- Villar, M.V., Gómez-Espina, R., Martín, P.L., Romero, F.J., Iglesias, R.J. (2014): Efecto del gradiente termo-hidráulico sobre el estado físico de bentonita compactada. XXIII Reunión SEA, Libro de resúmenes, 79-80.
- Villar, M.V., Romero, F.J., Gómez-Espina, R., Martín, P.L., Iglesias, R.J. (2015): Effect of thermo-hydraulic gradients on the physical state and geochemistry of compacted bentonite. Euroclay 2015, Book of abstracts, 326.