

Muestreo y caracterización de pellets de bentonita sometidos a elevadas temperaturas

María Victoria Villar Galicia (1*), Vanesa Gutiérrez-Rodrigo (1), Ana María Melón Sánchez (1)

(1) Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, 28040, Madrid (España)

* corresponding author: mv.villar@ciemat.es

Palabras Clave: Bentonita, Superficie específica, Temperatura. **Key Words:** Bentonite, Specific surface area, Temperature.

INTRODUCCIÓN

Los ensayos a gran escala en laboratorios subterráneos permiten reproducir las condiciones de un almacenamiento geológico profundo de residuos radiactivos y observar cómo se comportan los diferentes elementos, en particular, la barrera de bentonita colocada entre el contenedor de residuos y la roca almacén. Uno de estos ensayos es el HE-E (Heating Experiment), iniciado en 2011 en el laboratorio subterráneo de Mont Terri (Suiza), excavado en la argilita Opalinus. En dicho ensayo la barrera de 50 cm de espesor está constituida por pellets de bentonita tipo Wyoming (montmorillonita sódica) de alta densidad, mientras que un calentador simula el contenedor de residuos, manteniendo una temperatura de 140°C (Teodori & Gaus 2011). El agua subterránea que hidrata la barrera es escasa y de elevada salinidad. En 2023, mediante un sofisticado sistema de perforación y muestreo, se extrajeron dos testigos de bentonita, BHE-E3 y BHE-E4, sin alterar las condiciones del experimento, que siguió en funcionamiento (Mäder et al. 2024). La operación fue compleja debido al carácter granular, poca humedad y falta de consistencia del material. Sin embargo, se lograron obtener numerosas muestras y ubicar su localización. La caracterización de estas muestras tiene como objetivo determinar los cambios sufridos en las propiedades de la bentonita después de 11 años de estar sometida a un elevado gradiente de temperatura y limitada hidratación.

RESULTADOS

La Fig. 1 muestra las temperaturas medidas durante la extracción de los testigos y la humedad gravimétrica determinada en muestras tomadas en diferentes posiciones de los testigos. La temperatura desciende de los 140°C en la superficie del calentador a los 50°C en el contacto con la roca (Mäder et al. 2024). La disparidad observada en la humedad para una misma posición puede atribuirse a la dificultad de determinar con precisión la ubicación exacta de las muestras una vez extraídas. Sin embargo, se aprecia una clara disminución de la humedad a medida que las muestras se acercan al calentador debido principalmente a su exposición a temperaturas más altas y a una menor capacidad de hidratación debido a su mayor distancia a la roca encajante.

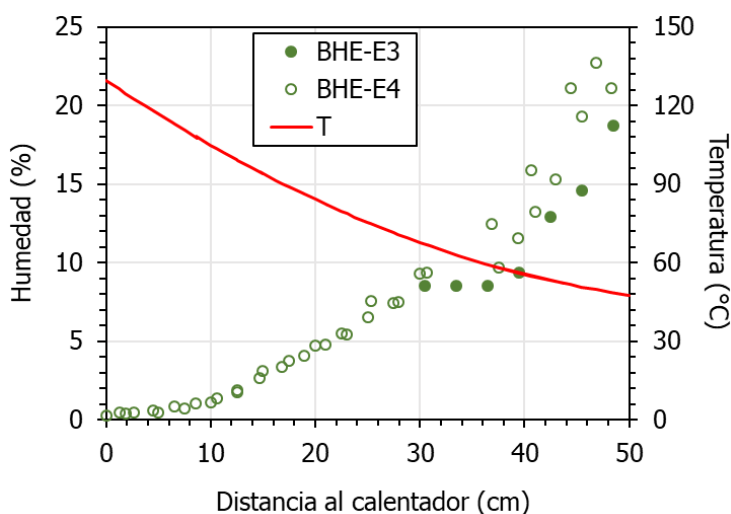


Fig. 1. Humedad de la bentonita y temperatura en los dos sondeos.

La superficie específica externa del conjunto de muestras analizadas varía entre 17 y 29 m²/g, siendo inferior al valor inicial de los pellets de bentonita, 31 m²/g. Este parámetro ha sido frecuentemente relacionado con la humedad de la bentonita, mostrando una disminución a medida que disminuye la humedad (Villar et al. 2022). Cabe destacar que la humedad inicial de los pellets era del 6%. Las muestras de los sondeos con humedades inferiores presentan superficies específicas inferiores a la de referencia, manteniéndose dicha relación.

Para estimar procesos geoquímicos de disolución, precipitación e intercambio catiónico se realizaron extractos acuosos de las muestras utilizando una relación sólido:líquido de 1:8, y se determinaron los cationes intercambiables usando nitrato de cesio para desplazarlos. En cuanto a las sales solubles, los resultados obtenidos para el sodio, sulfato y cloro son consistentes entre las dos perforaciones, lo que indica una homogeneidad en los procesos geoquímicos que tienen lugar dentro de la barrera (Fig. 2, izquierda). Además, es probable que estos iones procedan en parte del agua subterránea, ya que las concentraciones medidas, especialmente en los 10 cm más cercanos a la roca encajante, son notablemente superiores a las iniciales. La concentración de cloruro, el principal anión en las aguas subterráneas, aumenta considerablemente en la zona más próxima a la roca encajante (~20 cm). El sulfato tiene una menor movilidad y sólo incrementa su concentración en los 10 cm más próximos a la roca. Las concentraciones de sodio y sulfato también se ven afectadas por la elevada temperatura, ya que en los 10 cm más próximos al calentador se produce un claro aumento de ambos iones que podría estar relacionado con el desarrollo de células de convección en las primeras fases del experimento, cuando el material todavía tenía su humedad inicial.

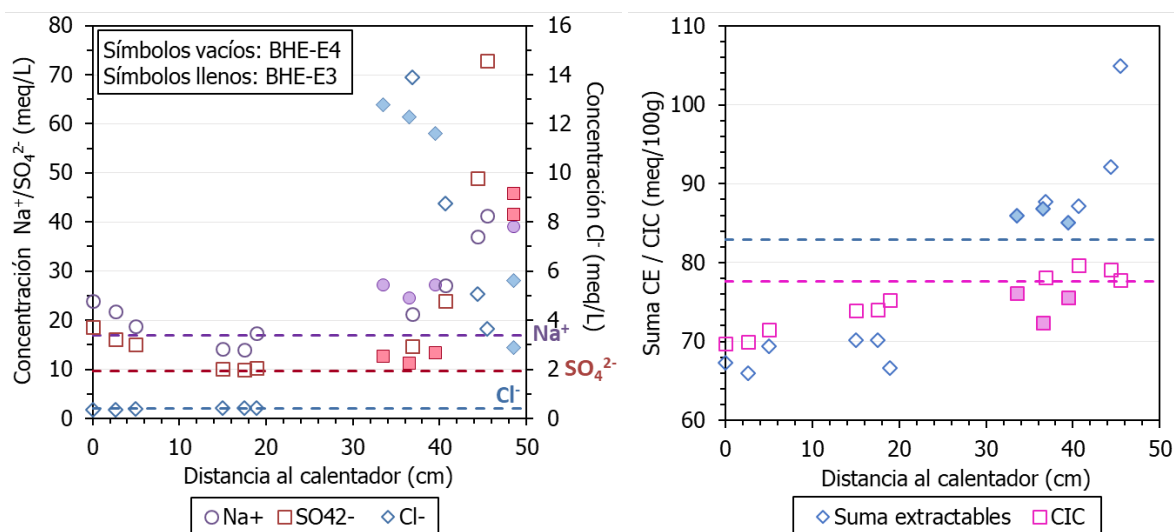


Fig 2. Concentración de los principales iones medidos en extractos acuosos 1:8 a lo largo de los sondeos (izquierda) y suma de los cationes extraídos junto con la capacidad de intercambio catiónico (CIC, derecha). Las líneas horizontales discontinuas representan los valores de referencia de la bentonita.

En la Fig. 2 (derecha) también queda representada la capacidad de intercambio catiónico (CIC) que disminuye hacia el calentador, tendencia observada previamente en otros ensayos *in situ* y de laboratorio. La suma de los cationes extraíbles (es decir, intercambiables más solubles) es superior en la zona más próxima a la roca encajante, debido al ingreso de agua de elevada salinidad desde la formación geológica circundante. El catión intercambiable predominante en todas las muestras sigue siendo el sodio, aunque su contenido disminuye hacia el calentador.

REFERENCIAS

- Mäder, U., Kober F., Treuthardt, M. (2024): HE-E Experiment: Sampling of hot granular bentonite by stabilised coring (2023). Mont Terri Technical Note TN 2024-06, Mont Terri Project. 147 p.
- Teodori, S.P., Gaus, I. (Eds.) (2011): Long Term Performance of Engineered Barrier Systems (PEBS). Mont Terri HE-E experiment: as built report. Nagra Arbeitsbericht NAB 11-25. Nagra, Wettingen, 125 pp.
- Villar, M.V., Iglesias, R.J., Gutiérrez-Álvarez, C. (2022): THM column cell with MX-80 pellets simulating the HE-E in situ experiment for 10 years: online results and final physical state. Informes Técnicos CIEMAT 1507. Madrid, 65 pp.