

RESUMEN

Actualmente, la utilización de energía atómica representa un 16 % del total de la energía que se produce a nivel mundial. Uno de los mayores problemas que afronta su utilización, es encontrar una solución segura para almacenar los residuos resultantes del proceso de producción de energía.

Una de las propuestas más estudiada y aceptada como solución a este problema, es la construcción de depósitos subterráneos donde mantener el residuo aislado durante el resto de su vida activa (ENRESA 2000, Reseal 2000, PRACLAY 1998). Estos depósitos se han diseñado siguiendo el criterio de multibarreras: conjunto de barreras independientes y redundantes que mantienen el residuo aislado. Los residuos se disponen, dentro de contenedores metálicos, en nichos horizontales o verticales, excavados en la roca. Para rellenar el espacio entre la roca y el contenedor metálico (canister) se busca un material que represente una verdadera barrera aislante, denominada barrera de ingeniería. Estos materiales están constituidos mayormente por bentonita.

El proyecto llamado Engineered Barrier Emplacement Experiment (Proyecto EB), propone el estudio de un nuevo concepto de almacenamiento subterráneo para residuos radioactivos de larga actividad. El residuo se dispone dentro de contenedores metálicos (canisters), alojados en nichos horizontales excavados en una roca arcillosa (Opalinus clay-Laboratorio subterráneo de Mont Terri, Suiza), y como material aislante, se utiliza una combinación de bloques y pellets (gránulos de alta densidad) de bentonita compactada. Los bloques de bentonita se utilizan para construir una base que permite apoyar y posicionar el canister metálico en el centro del nicho. Posteriormente se completa la parte superior del relleno con un material formado por pellets de bentonita compactada (AITEMIN 2001a, 2001b). Ambos materiales se fabrican a partir de una misma bentonita, la bentonita Febex (ENRESA 2000).

La presente tesis doctoral está asociada con los trabajos experimentales de caracterización del comportamiento hidromecánico de las muestras de pellets, realizados en el marco del proyecto EB. En ella se presenta el estudio experimental y constitutivo de la caracterización hidromecánica de las mezclas de pellets de bentonita.

Los pellets de bentonita se fabrican a partir de la compactación de polvo de bentonita precalentado, NAGRA (2001). Como resultado de este proceso, se obtiene un material formado por gránulos de alta densidad ($\rho_d=1.95 \text{ Mg/m}^3$), con un contenido de agua inicial muy bajo (3-4%) y un valor de succión inicial entre 250 y 300 MPa. Los pellets se mezclan siguiendo una curva granulométrica óptima y se coloca seco utilizando técnicas similares a las desarrolladas para el transporte de granos. Una vez finalizadas las operaciones de emplazamiento, da comienzo el proceso de hidratación. El bajo contenido de agua inicial del material y las características particulares utilizadas para su hidratación resultan determinantes en el planteo de un programa experimental. Para poder estudiar los aspectos más relevantes de la respuesta del material es necesario combinar distintas técnicas experimentales y adecuar las distintas metodologías de ensayo para el control de la succión (Romero, 2001)

La presentación de los trabajos de la tesis se realiza siguiendo el orden cronológico de su ejecución. Se distinguen en tres etapas fundamentales:

Una primera etapa en la que se estudiaron las características estructurales de las mezclas de pellets de bentonita. Se prepararon muestras con distintas densidades secas, se realizaron ensayos de porosimetrías de mercurio (MIP) y ensayos de infiltración.

En la segunda etapa, se definió una metodología de trabajo y se llevaron adelante los distintos ensayos del programa experimental. Se adecuaron las distintas técnicas y equipos experimentales y se realizaron los distintos ensayos divididos en tres grupos. En primer lugar, los ensayos de caracterización del comportamiento hidráulico. En segundo lugar, los ensayos de expansión, hinchamiento y compresibilidad con control de la succión. Finalmente, se realizaron ensayos para estudiar la influencia del tipo de transferencia de agua y velocidad de mojado en el comportamiento del material.

En la última etapa, se plantearon las bases conceptuales y leyes constitutivas de un modelo adecuado para materiales expansivos (Modelo BExM; Gens & Alonso, 1992 y Alonso *et al.* 1999). El modelo se implementó en un código numérico utilizando la técnica de diferencias finitas y se aplicó al caso de las mezclas de pellets de bentonita. El lenguaje de programación utilizado fue MATLAB. En la

descripción de los trabajos realizados en esta etapa, se detalla la implementación de las distintas ecuaciones y se describe el planteo iterativo utilizado para su resolución. También se sugiere una metodología para la deducción de los distintos parámetros del modelo, se indican las capacidades del modelo en distintos ejemplos y se comparan las predicciones del modelo con el comportamiento real observado.

Al final de la tesis, se presentan los resultados experimentales obtenidos en una serie de ensayos realizados a mediana escala, ensayos de columna de infiltración. Para ello se construyó un equipo que permite simular diferentes situaciones de mojado en condiciones muy controladas. El objetivo de estos ensayos es estudiar la respuesta del material en condiciones similares a las de su utilización como material de construcción de una barrera de ingeniería y limitar los posibles efectos de escala introducidos al ensayar muestras de menor tamaño.

- AITEMIN, 2001a. The EB Experiment Engineered Barrier Emplacement in Opalinus Clay. Test Plan, version 3.0. Internal report EB Project. Mont Terri-Switzerland 2001.
- AITEMIN, 2001b. EB Experiment. Geomechanical and Hydraulic instrumentation layout. Internal report EB Project. Mont Terri-Switzerland 2001.
- Alonso, E.E., Vaunat, J., Gens, A. 1999. Modelling the mechanical behaviour of expansive clays, *Engineering Geology*, 54, 173-183.
- ENRESA 2000. FEBEX Project. Full-scale engineered barriers experiment for a deep geological repository for high level radioactive waste in crystalline host rock. Final report. Madrid.
- Gens, A. & Alonso, E.E. 1992. A framework for the behaviour of unsaturated expansive clays. *Can. Geotech. J.*, 29, 1013-1032.
- NAGRA 2001. Short report on technical trials for producing bentonite granulations. Internal report EB Project.
- PRACLAY. Rapport final. 1998. Caracterisation hydrique des materiaux de l'experience Praclay. Contrat n1: 6B031850. J. M.
- Reseal Project-Phase I. 2000. Final Project Report. A large-scale in situ demonstration test for repository sealing in an argillaceous host rock..
- Romero, E 2001 Controlled-suction techniques. 4º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. W.Y.Y. Gehling & F. Schnaid (eds). Porto Alegre, Brasil, 535-542.