

Propiedades físicas y químicas de las rocas y del cemento para pozos para aplicaciones de almacenamiento de CO₂ en un simulador de pozos a escala real

Josephin Muhlbach^{1*}, Steffen Klumbach², Astrid Hirsch³, Marco Kromer³ y el Equipo COBRA exploran los hallazgos del proyecto COBRA (siglas en inglés de Equipo de Investigación de Pozos de CO₂) para constatar si es posible conseguir un almacenamiento geológico de CO₂ seguro en yacimientos agotados de hidrocarburos y en acuíferos salinos profundos.

El almacenamiento de gases (metano, hidrógeno, CO₂) o aguas residuales en formaciones geológicas profundas requiere una estrategia de abandono aprobada que sea segura a largo plazo. En este contexto, la integridad a largo plazo de los pozos es esencial para un uso seguro y eficaz del subsuelo. El objetivo del proyecto COBRA (siglas en inglés del Equipo de Investigación de Pozos de CO₂) es probar conceptos de abandono de pozos y evaluar las potenciales vías de las fugas en experimentos a escala real. Además, se han desarrollado y probado tecnologías innovadoras de monitorización (para más detalles, consultar: <http://www.planeterde.de/geotechnologien/aus-der-praxis/bohrloch-im-labor>). El punto inicial del proyecto fue probar la seguridad de instalaciones de pozos dentro del marco de una estrategia holística de reducción de los gases de invernadero. Dado que las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CAC) son una de las pocas opciones para reducir sustancialmente las emisiones de CO₂, el objetivo del proyecto COBRA es estudiar la sostenibilidad de las instalaciones de pozos bajo la influencia del ácido carbónico. COBRA es un proyecto conjunto que involucra tanto a geocientíficos como a ingenieros de cinco departamentos del Instituto Karlsruhe de Tecnología (KIT,

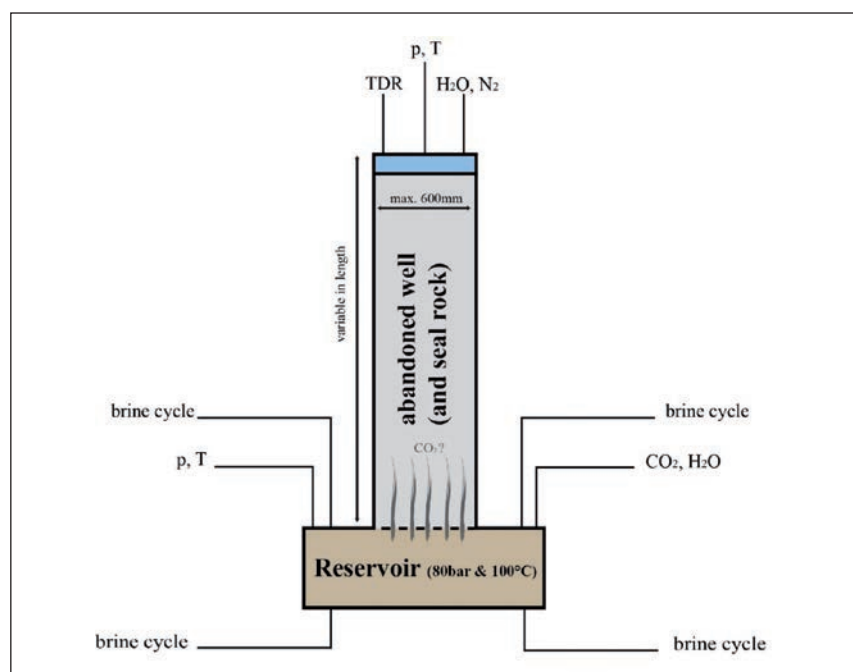


Figura 1 Esquema de un simulador de pozo a escala real de COBRA

por sus siglas en alemán), Alemania. Los experimentos de cementación a gran escala se combinan con estudios de corrosión de alta resolución que involucran el pozo, el revestimiento del pozo, el cemento y las rocas naturales. El objetivo de este proyecto es estudiar la alteración corrosiva y el ajuste de las fugas de este sistema multifase. Por tanto, se presta especial atención a la influencia de los desperfectos del cemento en el obturador de abandono.

En la actualidad se están utilizando, probando o construyendo tres tipos de simuladores de pozos (de tamaño pequeño a tamaño real). El mayor sistema autoclave tiene hasta 13 m de altura, donde todas las partes críticas de un pozo se pueden exponer al ácido carbónico a hasta 80 bares y hasta 100°C. Además, un sistema de circulación permite una circulación continua de fluidos a través de una cámara reactiva y ofrece la posibilidad de muestrear

¹ Instituto de Mineralogía y Geoquímica, Instituto Karlsruhe de Tecnología.

² Instituto de Geociencias Aplicadas, Instituto Karlsruhe de Tecnología.

³ Instituto de Estructuras de Hormigón y Materiales de Construcción, Instituto Karlsruhe de Tecnología.

* Correo electrónico del autor de contacto: josephin.muehlbach@kit.edu

fluidos in situ para rastrear los cambios en la química del fluido durante los experimentos. Las investigaciones mineralógicas, geoquímicas y petrofísicas permiten realizar la caracterización cuantitativa de los procesos y mecanismos subyacentes en la degradación del pozo, desde escala micrométrica hasta la escala real. Estudiantes de doctorado de COBRA presentaron los primeros resultados del proyecto COBRA en el Congreso SES de Pau, Francia, 2013. Este estudio implicó la degradación de areniscas triásicas y lutitas jurásicas de Alemania bajo la influencia de un fluido CO_2 -salmuera, así como su efecto sobre cementos de pozo estándar. El siguiente paso del proyecto ha comenzado con experimentos a largo plazo. Los autores agradecen al Ministerio Federal Alemán de Educación e Investigación (BMBF, por sus siglas en alemán) por financiar este proyecto a través del Programa GEOTECHNOLOGIEN (www.geotechnologien.de).

Métodos

Las propiedades físicas y químicas de la roca se caracterizan a pequeña escala para proporcionar valores de referencia para los experimentos a escala real. Por tanto, los estudios petrofísicos implican la determinación de la porción del espacio de poros mediante la ponderación por inmersión, la caracterización de la distribución del tamaño de los poros mediante la porosimetría por intrusión de mercurio, la permeabilidad a partir de experimentos de flujo, las propiedades elásticas estáticas y dinámicas a partir de pruebas de compresión uniaxial y biaxial, las propiedades elásticas complejas a partir del análisis térmico mecánico dinámico y las velocidades sísmicas a partir de mediciones ultrasónicas. Los estudios mineralógicos y geoquímicos comprenden la identificación de la composición elemental y mineral mediante la difracción de rayos X, la (micro) fluorescencia de rayos X y el análisis de láminas delgadas. Los experimentos de corrosión con combinaciones específicas de roca y cemento en scCO_2 y H_2CO_3 sirven para identificar reacciones químicas básicas

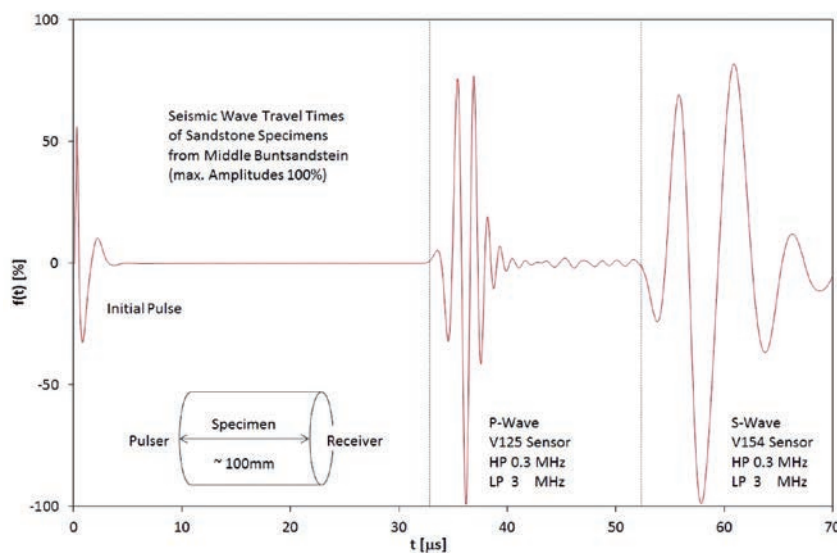


Figura 2 Resultados ejemplares combinados de las mediciones ultrasónicas.

que cambian la química de los fluidos del reservorio.

Primeros resultados

Los especímenes de roca estudiados son areniscas triásicas (rocas reservorio, p.ej., del Buntsandstein medio y del Keuper superior) y una lutita jurásica (rocas sello) del suroeste de Alemania, así como un cemento de pozo de clase G API. Los especímenes de la arenisca del Buntsandstein superior muestran una composición mineral (según la difracción de rayos X) de cuarzo, feldespato, ankerita, hematites y minerales de la arcilla indiferenciados y una composición química del 94,5% de SiO_2 , el 2,5% de Al_2O_3 , así como un 1,7% de K_2O . Las mediciones ultrasónicas indican un rango de velocidades de las ondas p desde 2,7 km/s hasta 3,0 km/s y entre 1,7 km/s y 2,0 km/s para las ondas s , a temperatura ambiente. La lutita consiste en un 58,7% de SiO_2 , un 23,1% de Al_2O_3 , un 4,5% de Fe_2O_3 , un 4,3% de CaO , un 3,2% de K_2O , un 2,1% de MgO y un 1,1% de TiO_2 y presenta una composición mineral de cuarzo, dolomita, calcita, mica, piritita, anfíbol y arcillas.

Perspectiva

Durante y después de la inyección de CO_2 en un reservorio, su integridad es una cuestión económica y ecológica esencial. La integridad de los pozos es

crítica en un marco temporal mucho más largo, ya que deben garantizar el sellado de los diferentes horizontes del suelo incluso mucho después de la fase de inyección. Aunque la integridad del reservorio está respondiendo a la mayoría de los procesos inducidos por la presión en el subsuelo durante su uso, las reacciones geoquímicas están actuando en un marco temporal mayor, afectando a la integridad de los pozos. Las reacciones geoquímicas que podrían cambiar las propiedades petrofísicas y, por tanto, afectar al reservorio y a la integridad del pozo, se deben investigar para diferentes formaciones de almacenamiento y de sello y para diferentes situaciones tectónicas del emplazamiento del almacén.

Referencias

- Haist, M., Soddemann, N., Hirsch, A., Klumbach, S., Müller, B., Schilling, F.R. and Müller, H.S. [2011] Cementing – Research Results and Future Challenges. GeoEnergy/gebo Conference Celle Drilling, Celle, Niedersachsen, Germany.
- Hirsch, A., Haist, M. and Müller, H.S. [2013] Durability of borehole cements used in carbon dioxide capture and storage. In: Proceedings of the First International Conference on Concrete Sustainability (CD), Tokyo, Japan, S. 623 – 630.
- Kromer, M., Klumbach, S., Hirsch, A. and the COBRA-Team. [2012] CO_2 -Borlochverschluss-Versuchsanlage für eine sichere Speicherung des Treibhausgases

CO₂. KIT Energy Center Annual Meeting, Karlsruhe, Baden-Württemberg, Germany. Mühlbach, J., Klumbach, S., Hirsch, A., Kromer, M. and the COBRA-Team. [2013] Physical and Chemical Properties of Rocks and Well Cement for CO₂-Storage Applications in A

Full Scale Borehole Simulator: First Results of the COBRA-Project. EAGE Sustainable Earth Science Conference 2013, Pau, Aquitaine, France. Schilling, F.R., Klumbach, S., Haist, M., Kromer, M., Hirsch, A., Bieberstein, A., Mutschler,

T., Neumann, T. and Scheuermann, A. [2012] A New Borehole Simulator for Full Scale *In-Situ* Well Cementing Experiments Under Elevated *p-T*-Conditions. DGG Conference GeoHannover, Hannover, Niedersachsen, Germany.