Actualidades: El proyecto internacional Stripa

Informe sobre la marcha de los trabajos en la planta de ensayo situada en una mina de hierro sueca abandonada

por Hans Carlsson

El proyecto Stripa es un proyecto de cooperación internacional que se lleva a cabo en una mina de hierro abandonada situada en la parte central de Suecia. El proyecto se realiza a gran profundidad en roca cristalina, y consiste en la investigación, en condiciones reales, de diferentes cuestiones relacionadas con la evacuación de desechos de alta actividad procedentes de la generación de energía nucleoeléctrica. La mina Stripa es sólo una planta de ensayo, y no se tiene la intención de utilizar o almacenar en ella ningún material radiactivo.

El proyecto se lleva a cabo de forma autónoma bajo los auspicios de la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE/AEN). La División de Investigación y Desarrollo de la Compañía Sueca de Combustible Nuclear y Gestión de Desechos (SKB) administra esta planta bajo la dirección de los representantes de cada país participante: Canadá, España, los Estados Unidos, Finlandia, Francia, Japón, el Reino Unido, Suecia y Suiza.

El proyecto se inició en 1980. Ya se han terminado algunas investigaciones y las restantes se realizarán en 1986. No obstante, se están celebrando negociaciones sobre nuevas investigaciones que traerían como resultado la prolongación del proyecto. Se están realizando experimentos principalmente a 360 metros de profundidad en granitos masivos de grano medio de color gris o rojo claro.

Programa de investigación 1980–1986

El proyecto Stripa incluye una serie de subproyectos con diferentes objetivos, presupuestos y calendarios. La investigación se centra fundamentalmente en las esferas siguientes:

- detección y levantamiento cartográfico de zonas de fractura
- condiciones de las aguas subterráneas y migración de nucleidos
- arcilla de bentonita como material de relleno y sellado.

Los resultados obtenidos aparecen trimestralmente en informes técnicos internos. En junio de 1985 se organizó un simposio internacional en el que se presentaron los experimentos y sus resultados. Las actas del simposio se pueden obtener por conducto de la OCDE/AEN.*

Detección y levantamiento cartográfico de zonas de fractura

Es preciso considerar la posibilidad de que, durante los largos períodos en que los desechos nucleares se mantienen radiactivos, se produzca la liberación de radionucleidos del repositorio y que éstos se desplacen hacia la biosfera. El único mecanismo de liberación posible es la disolución y el transporte en las corrientes de aguas subterráneas. El movimiento de las aguas subterráneas tiene lugar principalmente en las zonas de fractura existentes y, por tanto, es de extraordinaria importancia caracterizar estas zonas.

El objetivo de la "investigación por sondeos transversales" es crear y ensayar métodos e instrumentos geofísicos e hidráulicos a fin de detectar zonas de fractura y hacer su levantamiento cartográfico. Se crean y ensayan técnicas electromagnéticas (radar), sísmicas e hidráulicas (sinusoidales).

Las investigaciones se llevan a cabo mediante sondeos simples y múltiples, llamadas mediciones por sondeos transversales. A través de la roca se transmiten diferentes tipos de señales. Una interferencia como la que produciría una zona de fractura afectará la transmisión. La ubicación y orientación de las zonas de fractura se pueden determinar mediante la realización de pruebas en un gran número de secciones de los pozos.

En Stripa la mayor parte de las investigaciones se llevan a cabo en una configuración de sondeos especial a 360 metros de profundidad. Un conjunto de seis sondeos en forma de abanico dan acceso a un volumen de roca de alrededor de 3 millones de metros cúbicos; la distancia entre los pozos varía hasta un máximo de 200 metros. En estos sondeos se ha ejecutado un programa amplio de investigaciones "tipo" de sondeo simple a fin de suministrar una base de datos con la que se puedan comparar los resultados obtenidos con los métodos recién elaborados.

Nuevo sistema de radar

En Stripa se ha construido y ensayado un sistema nuevo de radar para pozos excavados en la roca que ha permitido obtener reflexiones nítidas de las zonas de fractura existentes a una distancia de hasta 100 metros de los pozos. Hasta el momento los resultados han demostrado que el sistema de radar para pozos excavados en la roca ofrece grandes posibilidades para la investigación de las zonas de fractura. Es particularmente alentador que

El Sr. Carlsson trabaja para la Compañía Sueca de Combustible Nuclear y Gestión de Desechos (SKB), División de Investigación y Desarrollo, Estocolmo.

* La dirección es 38, Boulevard Suchet, F-75016 París, Francia.

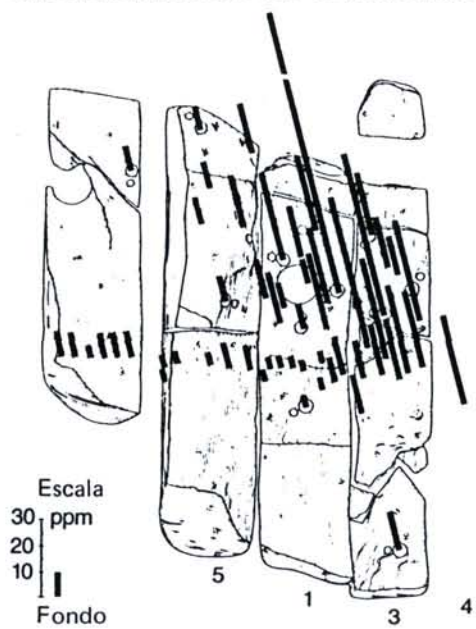
la mayoría de las zonas parecen reflejar muy bien las ondas de radar.

Durante el análisis de las mediciones del radar se descubrieron todas las zonas que se habían obtenido anteriormente de los mapas testigo y de datos de perfilajes, y además se encontraron zonas nuevas. Se tomaron en cuenta todas las reflexiones importantes, lo que demuestra que el método funciona de forma estable.

En resumen, el sistema de radar ha demostrado ser muy eficaz para detectar y describir las zonas de fractura. Queda mucho por hacer con respecto a la descripción física de las regiones fracturadas, pero es evidente que se puede solucionar con seguridad el problema puramente geométrico de describir su orientación.

Pruebas hidráulicas

El componente de pruebas hidráulicas de la "investigación por sondeos transversales" consiste en transmitir diversas señales hidráulicas entre dos o más pozos. Al pasar la señal a través de la roca acuífera, se modifica por la interacción de las fracturas y la matriz rocosa. La interpretación matemática de las interferencias de las señales permite cuantificar diversos parámetros hidrogeológicos importantes. Las pruebas de sondeos transversales consisten en la combinación de técnicas de interferencia "tipo" y el método sinusoidal, más moderno. Además, se han utilizado todas las formas de pruebas activas de sondeo simple, incluidas las pruebas de corriente constante, de presión constante, de sellado y de impulso.



Para ayudar a pronosticar la migración de radionucleidos en la roca, los científicos inyectaron trazadores en una fractura simple y después controlaron sus movimientos en los pozos de muestreo perforados a lo largo de la fractura. Aquí se muestra la distribución del cesio alrededor del punto de inyección. (Cortesía: SKB)

El sistema de pruebas fue diseñado para que funcionara a 360 metros de profundidad en la mina Stripa, pero es igualmente idóneo para realizar mediciones hidrogeológicas en cualquier cavidad minera en que las presiones del agua sean mayores que la presión atmosférica.

En Stripa se llevó a cabo un estudio sísmico mediante sondeos transversales y ahora se realiza la interpretación de los datos y una comparación con las mediciones de radar e hidráulicas. Sin embargo, las investigaciones sísmicas se pueden realizar a distancias de hasta 500 metros o más entre el transmisor y el receptor, lo que reduce la conveniencia de la mina Stripa como emplazamiento de ensayo adecuado. Es por eso que, además de Stripa, el emplazamiento de Gideå, ubicado en la parte norte de Suecia, se utiliza como emplazamiento de ensayo complementario. Anteriormente la SKB había estudiado minuciosamente las condiciones geológicas del emplazamiento de Gideå en el marco del programa para seleccionar un posible emplazamiento para el repositorio de combustible nuclear irradiado.

Las condiciones de las aguas subterráneas y la migración de nucleidos

Parte de las investigaciones que se realizan en Stripa están encaminadas a determinar la evolución de las aguas subterráneas de ese lugar y a establecer un programa general para el muestreo y el análisis del agua presente en la roca cristalina. Las muestras de agua se toman a una profundidad máxima de 1200 metros de la superficie. Hasta el momento, una conclusión fundamental a que se ha llegado en estos estudios es que los diferentes constituyentes disueltos ofrecerán diferentes tiempos de residencia. Esto se debe a que tienen diferentes orígenes e historias evolutivas que pueden estar o no relacionados con la evolución general de las propias aguas subterráneas. Por tanto, esto se debe tener en cuenta al interpretar las determinaciones de la edad de las aguas subterráneas.

Para poder predecir la migración de radionucleidos con las aguas subterráneas en las fracturas rocosas, es necesario comprender los procesos que intervienen. Para cuantificarlos se necesitan datos sobre la corriente y el transporte en fracturas reales y en condiciones normales. Los modelos que se utilizan para los pronósticos deben incluir descripciones de los procesos y los mecanismos importantes.

La elaboración de modelos de migración en los análisis de seguridad efectuados para un repositorio en roca granítica se basa en el supuesto de que cuando se lixivian cualesquiera radionucleidos de los desechos, prácticamente todos los radionucleidos importantes interactuarán química o físicamente con el lecho de rocas y, por consiguiente, se retardarán considerablemente. La magnitud de este retardo depende de la velocidad del caudal de agua, las tasas de retención y los equilibrios de las reacciones, así como de la extensión superficial que está en contacto con el agua en movimiento.

En una investigación denominada "migración en una fractura simple", se inyectaron en una fractura de ese tipo trazadores no sorbentes y sorbentes que simulaban radionucleidos. Los tiempos de llegada y las concentraciones de estos trazadores se controlaron en pozos de muestreo perforados a lo largo de la fractura a unos 5 metros de distancia del punto de inyección. Además, se extrajeron

Como parte de los experimentos para observar el flujo de las aguas, los científicos utilizaron esta galería horizontal experimental recubierta con láminas de plástico para la toma de muestras de agua. (Cortesía: SKB)

muestras de la fractura cerca del punto de inyección con una perforadora de punta de diamante. Los resultados de las pruebas de campo, junto con las pruebas de laboratorio de apoyo, demuestran que existen dos mecanismos importantes para la magnitud del retardo de los radionucleidos que migran:

- La difusión en la matriz rocosa adyacente a la fractura y la sorción posterior en las superficies interiores
- La canalización dentro de una fractura, es decir, sólo determinadas partes de la fractura conducen el agua.

El primer mecanismo aumenta notablemente la capacidad del lecho de roca para retardar los radionucleidos. El segundo mecanismo contrarresta al primero al reducir la superficie de contacto entre el agua que fluye y la roca subyacente. También puede dar lugar a canales "rápidos".

Prueba de migración en gran escala

Actualmente se lleva a cabo en Stripa un experimento de migración en gran escala con trazadores que tiene por objeto conocer la distribución espacial de las vías de agua en la roca cristalina en una distancia grande (hasta 50 metros).

El emplazamiento experimental está ubicado a 360 metros de profundidad. El agua fluye constantemente hacia la galería horizontal porque este nivel está ubicado muy por debajo de la capa freática. En esa corriente de agua se inyectan trazadores conservadores (no sorbentes). El emplazamiento de ensayos consiste en dos galerías horizontales que se intersectan, con una longitud total de 100 metros. Se hicieron tres perforaciones verticales de inyección hacia arriba, hasta una profundidad aproximada de 70 metros. La inyección de trazadores se lleva a cabo desde un total de nueve zonas separadas en estas perforaciones, que tienen una permeabilidad mayor que la roca media. Todo el techo y partes de las paredes de la galería horizontal se recubren con láminas plásticas que se utilizan para tomar muestras de agua que se usarán en los análisis ulteriores.

Los datos preliminares de la prueba de migración en gran escala indican que el agua no fluye uniformemente en la roca en la escala considerada. Es evidente que en esta escala la corriente de agua no se puede describir como corriente de medio poroso homogéneo. La canalización, en cambio, parece desempeñar un papel importante.

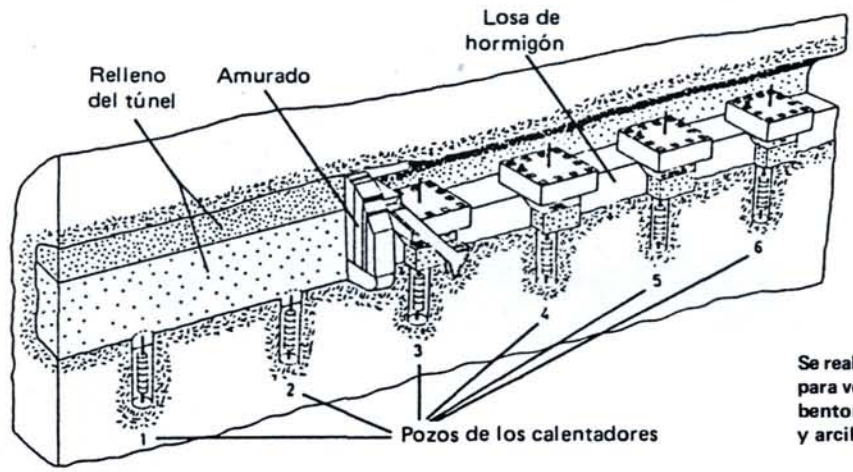
Pruebas de materiales tampón y de sellado

La "prueba de masas tampón" se inició en 1980 y se terminó en 1985. Se utilizaron seis pozos grandes, con un diámetro de 0,75 metros y una profundidad de cerca de 3,5 metros, como pozos de evacuación para recipientes de desechos simulados que estaban rodeados de una masa de bentonita muy compactada con una mezcla de arena y bentonita como sobrecapa. Una parte de la galería horizontal experimental se llenó completamente con la mezcla de arena y bentonita.

La prueba tenía como objetivo verificar la idoneidad y las funciones pronosticadas de los materiales tampón a base de bentonita en condiciones reales. Así pues, se midieron las temperaturas, la absorción de agua, la dilatación y las presiones del agua. La potencia del calentador se estableció en 600 vatios, pero también se llevaron a cabo pruebas suplementarias con una potencia elevada, de 1200 a 1800 vatios. Los pozos de evacuación se excavaron al cabo de períodos que oscilaron entre 10 y 40 meses, y se examinó cuidadosamente la masa de bentonita. De la misma manera, a los 33 meses de la prueba se excavó la parte rellenada de la galería horizontal.

La mayor parte del trabajo de campo se terminó en 1984. El experimento fue muy fructífero y demostró que la bentonita llena todos las oquedades después que se produce la saturación de agua y la dilatación, con lo que se verificaron los datos obtenidos anteriormente en el laboratorio.

Actualmente se realizan varias pruebas a fin de estudiar la arcilla de bentonita como material de sellado para pozos, galerías y túneles. El objetivo del experimento de sellado de pozos es ensayar la técnica de aplicación y la tasa de maduración de la bentonita, así como la adhesión del material arcilloso a la roca. Los pozos están equipados con bloques cilíndricos de bentonita muy compactada rodeados de tuberías de cobre perforadas o de tuberías de malla de acero.



Se realizaron pruebas de masas tampón para verificar la función de barrera de la bentonita y de las mezclas de bentonita y arcilla.

Las fracturas acuíferas o las zonas de fracturas que intersectan galerías y túneles también se pueden sellar o aislar con bentonita muy compactada. En el experimento del sellado de galerías se separan dos tapones de bentonita mediante una cámara de inyección rellenada con arena que simula una fractura acuífera. La evaluación se hace comparando la corriente de inyección con la de una prueba de referencia anterior con tapones de hormigón en vez de bentonita.

También se están estudiando las posibilidades de la bentonita muy compactada para sellar una zona acuífera muy fracturada que atraviese una galería horizontal. La zona acuífera fracturada se simula con tuberías de agua empotradas en arena. Todos los preparativos se han terminado y la prueba inicial, incluso con altas presiones de agua (3 megapascales), demuestran que las capacidades de sellado de la bentonita son muy buenas y se ajustan a los pronósticos.

Referencias técnicas

- *Stripa Project – Annual Report 1984,* SKB, Stripa Project TR 85-07, Estocolmo (1985).
- *Annual Research and Development Report 1984,* SKB, TR 85-01, Estocolmo (1985).
- *Stripa Project – Executive Summary of the Phase I Activities,* SKB, Estocolmo (en prensa)
- *Radioactive Waste Disposal – In Situ Experiments in Granite,* Proceedings of the Second NEA/Stripa Project Symposium, OCDE/AEN, París (1985).