

## Tesis Doctoral

# Análisis del contenido en agua en formaciones salinas. Su aplicación al almacenamiento de residuos radiactivos

CARLES DE LAS CUEVAS MULLER

Laboratori d'Investigació en Formacions Salines. Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica.  
Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. c/ Martí i Franquès s/n. Zona Universitària de Pedralbes. 08071-BARCELONA.

### RESUMEN

Los grandes progresos científicos llevados a cabo durante el siglo XX, han representado un avance tecnológico en la producción de bienes de consumo, lo que ha conllevado a la producción de residuos. La gran mayoría de estos son inevitables, irreciclables y pueden representar un riesgo, motivo por lo que requieren una gestión adecuada para garantizar la protección a la salud humana y al medio ambiente. Un tipo específico de residuos son los radiactivos, procedentes del desarrollo de la tecnología nuclear, tanto en el campo de la generación de energía eléctrica, como en la utilización de radioisótopos en las instalaciones hospitalarias e industriales. Según su actividad y el tipo de isótopos presentes, los residuos radiactivos se dividen en residuos de baja y media actividad (no presentan emisores alfa y tienen una peligrosidad potencial de unos 300 años) y los residuos de alta actividad, que han de estar aislados del medio ambiente unos 100.000 años. Estos últimos, debido a la intensidad de la radiación, generan asimismo calor.

Las formaciones salinas constituyen una de las litologías potencialmente favorables para el almacenamiento de los residuos radiactivos de alta actividad. Ello se debe a su baja permeabilidad, su buena conductividad térmica, su comportamiento plástico así como a la estabilidad a largo plazo de los almacenamientos subterráneos construidos en formaciones salinas.

### ABSTRACT

**Water content analysis in rock salt formations. Application to radioactive waste disposal.**

Rock salt formations are one of the suitable host rocks for high radioactive waste disposal. Among the site selection criteria, one of great importance is the presence of water in the host rock. Due to their ge-

nesis and to their mineralogical composition salt formations always contain small amounts of water. This water can be present as interstitial brine, in hydrated minerals and as intragranular fluid inclusions.

In order to define the range of water content present in rock salt, as well as its relation between mineralogy and stratigraphical position, five rock salt types have been studied. For each sample water content and also mineralogical analysis has been performed. In most of the studied samples water is present as interstitial brine and fluid inclusions. In some cases water can also be present in form of hydrated minerals. The distribution of the water content is usually of lognormal type. In some rock salt formations, several subpopulations could be found. Total water content ranges from 0.01 to 3.50%.

Mathematical treatment on the aforementioned data consisted of the estimation of the error related to the sampling procedure, statistical tests (univariant, ANOVA, correlation, PCA and trend analysis) and Geostatistics. These treatments have allowed to discern between water-rich and water-poor rock salt and also to confirm that there are three factors controlling the amount of water content: mineralogical composition, halitic lithofacies and degree of tectonic stresses. Geostatistical analysis has shown that for detailed characterization purposes a sampling interval of 1 m is convenient, whereas for a first characterization of a salt formation a sampling interval of 5 m seems reasonable. Finally, trend analysis has confirmed that along a rock salt formation, alternancy of water-rich and water-poor zones may exist.

The methodology described in this study can be very useful for site characterization purposes. Data arising from laboratory research on the aforementioned parameters combined with safety assessment methods can provide the technical basis to decide whether the proposed disposal site offers a satisfactory level of safety.

Debido a su génesis y a su composición mineralógica, las rocas salinas contienen siempre un pequeño porcentaje de agua. Este agua puede ser movilizada y migrar a través de los bordes de grano, pequeñas fracturas y poros intergranulares, debido al efecto térmico producido por los residuos, acelerando la corrosión de los contenedores y facilitando la lixiviación de los radionúclidos. Una vez éstos han sido lixiviados, la salmuera podría migrar a través de la formación salina y, eventualmente, ser expulsada hacia acuíferos suprayacentes.

Para saber como interaccionarán los residuos con la roca encajante, es necesario conocer la cantidad de agua presente en la formación salina y saber cual será su comportamiento al ser sometida a los gradientes de temperatura que se producirán dentro del repositorio. Otro de los efectos que hay que tener en cuenta es que la presencia de agua en una formación salina influye en su resistencia mecánica, y puede dar lugar a generación de hidrógeno bien por radiólisis o bien por corrosión. También puede favorecer los fenómenos de recristalización de la sal, disminuyendo la cantidad de defectos cristalinos generados por la radiación.

El agua en las formaciones salinas puede hallarse presente en tres formas diferentes, pudiendo comportarse cada una de ellas de modo distinto en las condiciones de un almacenamiento de residuos radiactivos. Estas son: inclusiones fluidas intragranulares, agua de composición en minerales hidratados y agua intergranular ligada por adsorción a los bordes de grano.

Para definir el rango del contenido de agua en las formaciones salinas, así como para ver si existe una eventual dependencia de la composición mineralógica o de la situación estratigráfica, se han estudiado cinco tipos de rocas salinas: la "sal de muro" de la Fm. Salina de Cardona, miembro potásico de la Fm. Salina de Cardona, los niveles halíticos de la Fm. Zaragoza, la "sal de muro" de la Fm. Guendulain y rocas salinas diapirícas triásicas procedentes de las zonas levantina y vasco-cantábrica).

La metodología analítica ha consistido, en primer lugar en una cuarteo de las muestras en dos partes alícuotas. La primera de ellas se destinó a análisis del contenido de agua por termogravimetría. Se ha utilizado el método termogravimétrico ya que, además de proporcionar su contenido total, permite diferenciar sus diversos tipos. La segunda alícuota fue utilizada para realizar el análisis mineralógico por difracción cuantitativa de rayos X y el estudio de insolubles presentes en la roca. Finalmente, en algunas muestras se preservó una parte

para la obtención de láminas delgadas a fin de determinar su textura, así como poder controlar la presencia y el tamaño de las inclusiones fluidas.

Los tratamientos numéricos de los datos analíticos han consistido en calcular el error máximo, debido a los procesos de cuarteo, análisis estadísticos (univariante, de varianza, de correlación, análisis de componentes principales y de tendencia) y análisis geostadísticos.

En la mayor parte de las muestras salinas estudiadas, el agua se encuentra presente en forma intergranular e intragranular. Algunas muestras presentan, asimismo, agua de composición de minerales hidratados salinos o de minerales del grupo del caolín.

El contenido en agua total en las muestras salinas estudiadas oscila entre 0.01 y 3.50 %, mientras que el contenido en salmuera libre oscila entre 0.01 y 1.24 %. La presencia, en pequeñas cantidades, de minerales hidratados salinos o de minerales del grupo del caolín es la causa del sensible aumento del contenido en agua total presente en la roca salina.

El Análisis de Varianza ha permitido diferenciar tres tipos de formaciones salinas en base a su contenido en salmuera libre. El Análisis de Componentes Principales realizado ha permitido confirmar la existencia de tres factores que condicionan el contenido en agua. Por un lado existe un factor, que representa la mayor capacidad de retención del agua intergranular por parte de los minerales sulfatados y arcillosos. Otro factor es la presencia de la litofacies de halita lechosa, rica en inclusiones fluidas, en la roca salina. El tercero sería el tectónico, que variaría en función del grado de deformación al que ha estado sometido el diapiro.

Considerando que los estudios de modelización de la distribución de temperatura en el macizo salino indican que en la zona del repositorio se alcanzarán temperaturas de unos 100°C mientras que en los alrededores de los contenedores la temperatura alcanzará unos 200°C, puede estimarse como negativa la presencia de yeso y carnalita, que se deshidratan a temperaturas inferiores, mientras que la presencia de polihalita y kieserita no parece influir negativamente en la seguridad del repositorio.

A partir de los estudios estadísticos realizados se deduce que para una primera caracterización del contenido en agua de una formación salina es suficiente un muestreo cada 5 m de sondeo. No obstante, para una caracterización más detallada, el estudio de los variogramas in-

dica que el intervalo de muestreo óptimo es de 1 m.

El análisis de tendencia realizado mediante el método de las medias móviles muestra que, si bien la composición mineralógica causa fuertes fluctuaciones en el contenido de agua, a nivel de una formación salina pueden existir tramos más ricos y tramos empobrecidos en salmuera.

La metodología propuesta, tanto analítica como de tratamiento de datos, se ha revelado como muy adecuada para la caracterización de formaciones salinas susceptibles de ser utilizadas como repositorios de residuos radiactivos. El estudio de los parámetros anteriormente

mencionados combinado con los métodos de evaluación del comportamiento del sistema, puede proveer la base técnica para decidir si el emplazamiento ofrece un nivel satisfactorio de seguridad.

Fecha de lectura: 3-12-1992

Director:

Juan José Pueyo  
Dept. de Geoquímica, Petrologia i Prospecció  
Geològica.  
Universitat de Barcelona.