

# Caracterización geológica para el emplazamiento de instalaciones de riesgo

## *Geological characterisation for risky installation location*

J. Guimerà (\*) y B. Ruiz (\*\*)

(\*) Dep. Ingeniería del Terreno, ETSECCPB, UPC. Av. Gran Capitán s/n, D-2, 08034 Barcelona  
 (\*\*) Instituto de Medio Ambiente, CIEMAT, Av. Complutense 22, 28040 Madrid

### ABSTRACT

*Certain installations are devoted to risky activities such as nuclear facilities (power plants, waste repositories), sanitary landfills or some chemical industries. Placing such plants into the land, deserve specific geological, geotechnical and hydrogeological studies. Preferential flowpaths such as fractures or material boundaries deserve special attention on the geological mapping. An accurate borehole drilling is essential for the proper characterisation activities. Hydrogeology plays a relevant role, since integrates data from different origins. Methods to properly characterise a specific site involves tests specially designed for low permeability media.*

**Key words:** *Risky installations, low permeability media, specific mapping*

*Geogaceta, 20 (7) (1996), 1189-1191*  
 ISSN: 0213683X

### Introducción

El emplazamiento de cierto tipo de instalaciones en el territorio conlleva una dosis de peligrosidad por el impacto ambiental que puedan tener en el entorno. Dentro de este grupo de instalaciones tienen cabida centrales nucleares, vertederos de residuos especiales, complejos petroquímicos, almacenamientos de residuos radiactivos, etc. Normalmente, la legislación estipula las características del terreno para prevenir los defectos que ocasionalmente pudieran surgir en el funcionamiento de la instalación. Dichos defectos, suelen dar como resultado vertidos (sólidos o líquidos) o emanaciones tóxicas. En el caso de los primeros, el destino final del vertido será bien el propio suelo (zona no saturada), o bien el acuífero. En este artículo nos centraremos en la caracterización del terreno de cara a prevenir que un eventual vertido dañe bien el suelo o los recursos hídricos de una determinada zona. La metodología que deberá aplicarse es bastante similar a la que se utilizaría en hidrogeología clásica con algunas salvedades. Éstas tienen su origen en que los terrenos en los que normalmente se asentarán las instalaciones serán de baja permeabilidad, con lo cual, el enfoque hidrogeológico es hasta cierto punto contrapuesto al enfoque clásico: en lugar de caracterizar los recursos de un determinado acuífero o formación geológica, se trata de caracterizar su "estanqueidad".

La hidrogeología de medios de baja permeabilidad ha cobrado bastante relevancia en los últimos años, a raíz precisamente del em-

plazamiento de instalaciones de riesgo. Si bien la metodología incluye balances hídricos, hidrogeoquímica del medio, ensayos hidrodinámicos, etc., como en los medios permeables, las técnicas clásicas están limitadas por los volúmenes de agua que se involucran -caudales siempre muy bajos- y por los tiempos necesarios para realizar ensayos o tomar muestras (Carrera, 1987; 1991; Guimerà *et al.*, 1995). En los apartados que siguen, se darán las pautas que debe seguir la caracterización hidrogeológica a dos escalas de trabajo: a gran escala (decenas de km) para dar las condiciones de contorno a la pequeña escala (centenares de m) que será más específica del emplazamiento. Para finalizar se comenta como ejemplo, algunas de las metodologías aplicadas al proyecto Berrocal.

### Escala regional

Los trabajos a escala regional deben cubrir: la cartografía geológica, topografía y descripción preliminar del flujo subterráneo. La cartografía deberá enfatizar la fracturación y los contactos de materiales que puedan construir vías preferenciales de flujo. Tener en cuenta la topografía será importante a efectos de determinar direcciones de flujo regional -incluso a escala local- y para establecerlos contornos del área afectada por el emplazamiento. El flujo subterráneo a gran escala, debe identificarse bien mediante las surgencias de agua o con un inventario de pozos preexistentes en la zona. La dirección y una primera estimación de la magnitud, puede

describirse con ayuda de datos isotópicos que sean indicadores de tiempos de residencia del agua en el medio y el origen del agua de recarga. Así mismo, la composición química del agua podrá ser reflejo de la geología de la zona. En este sentido es necesaria la integración de todos los datos (geología, estructura, contornos, descargas, hidroquímica, piezometría) en un primer modelo conceptual hidrogeológico. Este modelo podrá servir de base para determinar la posición del emplazamiento en relación al aprovechamiento del suelo y de los recursos hídricos de la zona, y estimar los tiempos de tránsito ante un eventual vertido o fuga de contaminantes.

### Escala local

En el entorno del emplazamiento, será importante determinar la estabilidad del macizo rocoso circundante -si es a cielo abierto- y las características hidrogeológicas -tanto si es en superficie como si es en profundidad-. Para los primeros, puede ser suficiente aplicar los ensayos clásicos de estabilidad de taludes (Hocking, 1976; Hoek y Bray, 1977; Goodman, 1980). Las características hidrogeológicas deberán incluir: geología detallada (escala 1: 1000-2000) con especial énfasis en las discontinuidades del terreno susceptibles de constituir zonas de flujo preferente; características hidráulicas del macizo rocoso; distribución de los parámetros hidráulicos (T, S, Q, D) en el entorno del emplazamiento. La geología de detalle de superficie deberá ser la base para planificar una campaña de son-

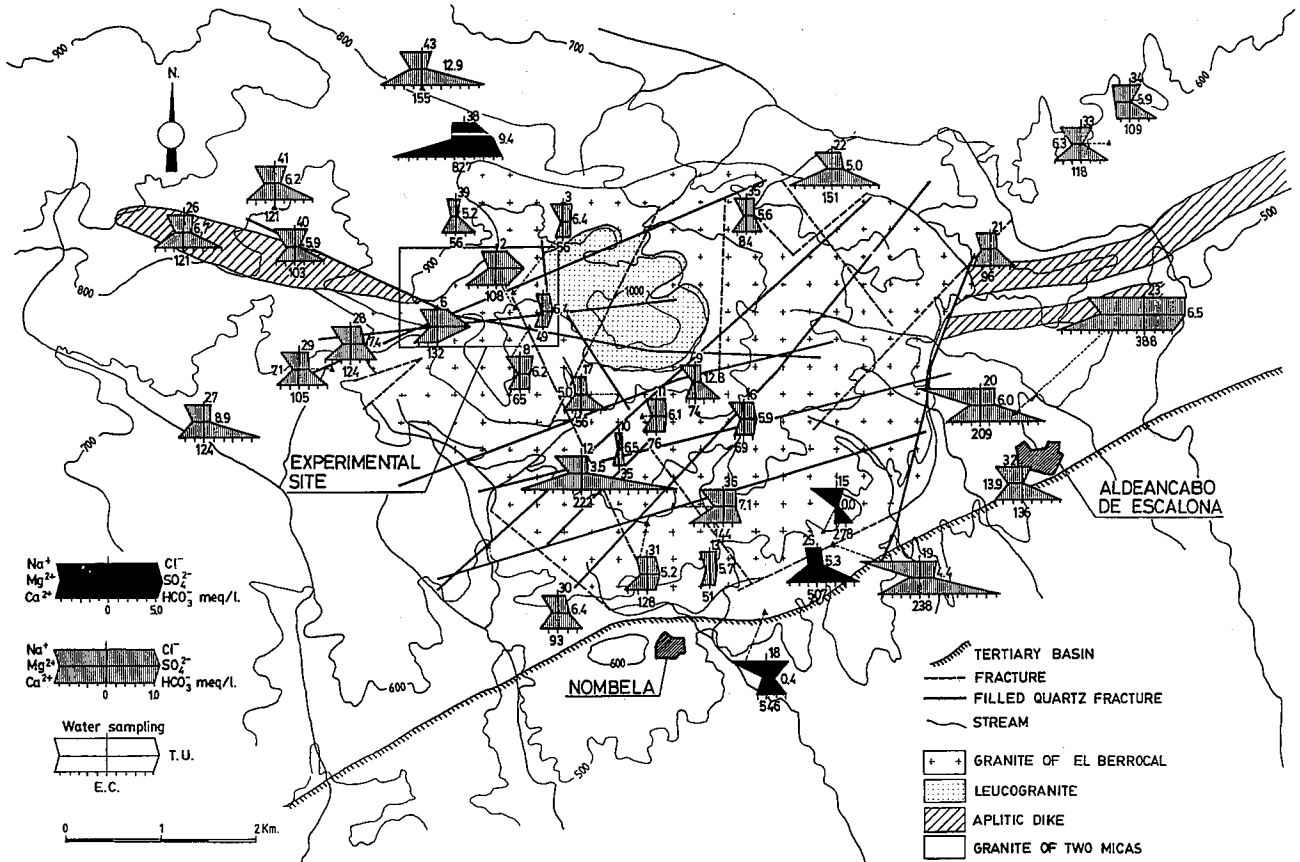


Fig. 1.- Esquema geológico del plutón del Berrocal, con los diagramas de Stiff modificados de los manantiales permanentes. Se indica también el contenido detrítico .

Fig. 1.- Geological scheme of El Berrocal pluton, showing modified Stiff diagrams and tritium content at permanent springs.

deos orientada a 1) solucionar la geología en profundidad 2) realizar ensayos hidráulicos para la caracterización del macizo 3) montar una red de vigilancia y control piezométrico y de calidad del agua. Estos sondeos deberán, pues, integrar información previa (regional) y potenciar sus usos futuros. En la medida de lo posible, serán con extracción de testigo y se limitará el uso de fluidos refrigerantes durante la perforación. Si el macizo es estable, se recomienda no entubar el sondeo y, si se debe hacer, es conveniente ranurar un tramo corto al final del sondeo, rodearlo de un prefiltro y/o de un macizo de grava y cementar el anular hasta la superficie. Las diagrfias geofísicas son herramientas complementarias de caracterización. Entre ellas destaca el registro de televisión acústica (televiwer) por la posibilidad de orientar las discontinuidades en el sondeo y la imagen de microconductividad eléctrica (EMI) en formaciones sedimentarias (Shirley, 1995). Los ensayos en sondeos como se ha comentado al principio, serán limitados por la propia naturaleza del medio. En aquellos tramos más permeables, que interseccionen más de un sondeo, se podrán hacer ensayos para determinar la permeabilidad global del macizo y la transmisividad de las discontinuidades. En general, en el mejor de los casos se obtendrá un perfil de transmisividades en cada sondeo donde se hagan ensayos y pocos datos entre sondeos. A efectos

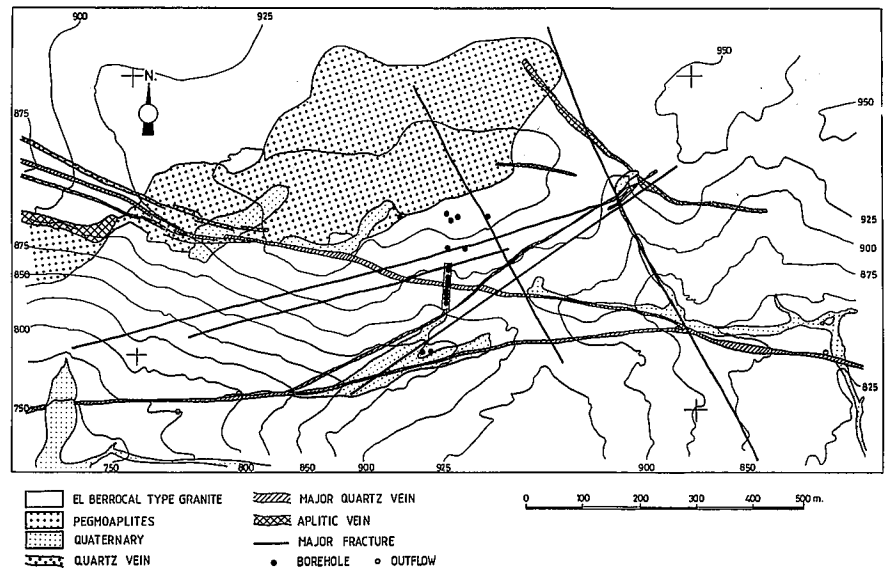


Fig. 2.- Mapa geológico simplificado de la estación experimental del Berrocal, con la posición de los sondeos de investigación y de parte de las antiguas labores mineras

Fig. 2.- Simplified geological map of El Berrocal site, showing boreholes position and old mining works (partially).

de determinar las propiedades que afectan los solutos es interesante realizar ensayos de trazadores con bombeo. Si además, los trazadores son de naturaleza parecida a los contaminantes potenciales, la correcta interpretación de estos ensayos es una valiosa herramienta de predicción en el futuro.

### Ejemplo: El Berrocal.

El proyecto Berrocal ha sido un proyecto de investigación financiado por ENRESA y parcialmente por la CEC. Fué un ejercicio integrador de caracterización geológica (Pérez del Villar *et al.*, 1996; Campos *et al.*, 1996), hidroquímica (Gómez *et al.*, 1996) e hidrogeológica (Carrer *et al.*, 1996) con el objetivo de entender y modelizar procesos actuales y antiguos de migración de radionucleidos en medios graníticos. El Berrocal no se considera como una zona susceptible para almacenamiento de residuos. El Berrocal está en el margen meridional del Sistema Central muy cerca del contacto por falla inversa con la cuenca del Tajo, y la caracterización a gran escala incluye la cartografía del plutón (decanas de km) con énfasis en las zonas de contacto en la intrusión. Al mismo tiempo, se realizó un inventario de manantiales cuyo análisis químico o isotópico reveló tiempos de tránsito variables según la posición del manantial en el macizo: la descarga "profunda" (>500 años) se realiza en las zonas de contacto del granito con granodioritas encajantes (Figura 1). En cotas más altas, cerca de la zona de recarga, los tiempos de tránsito son más cortos. Dada la topografía del plutón el sistema de flujo regional es ligeramente radial cuando se ve en planta. La estación experimental se hallaba en la parte alta de este plutón, por lo que está en una zona donde el flujo regional era eminentemente vertical descendente. A escala local, la geología relevante para el modelo hidrogeológico puede resumirse en tres sistemas principales de fracturación, que coinciden con tres diques principales de cuarzo (uno de ellos mineralizado en uranio, que fue objeto de gran parte del estudio) y tres sistemas de diaclasado (Figura 2). La hidroquímica derivada de los muestreos en los sondeos y surgencias, pone de manifiesto dos sistemas de flujo, uno superficial -poco profundo afectado por los altos gradientes topográficos- y otro más profundo, afectado por el flujo regional. Se realizaron del orden de 150-170 ensayos hidráulicos de un solo sondeo en 12 de un total de 19 sondeos (más de 2100 m en total), entre 10-20 ensayos entre sondeos y 6 ensayos del trazadores conservativos, además de efectuar el balance hídrico por métodos convencionales. Al final, se obtuvo un modelo conceptual que fue cuantificado numéricamente y que se muestra en la Figura 3.

### Conclusiones

Dada la especificidad de las tareas de caracterización de zonas de instalaciones

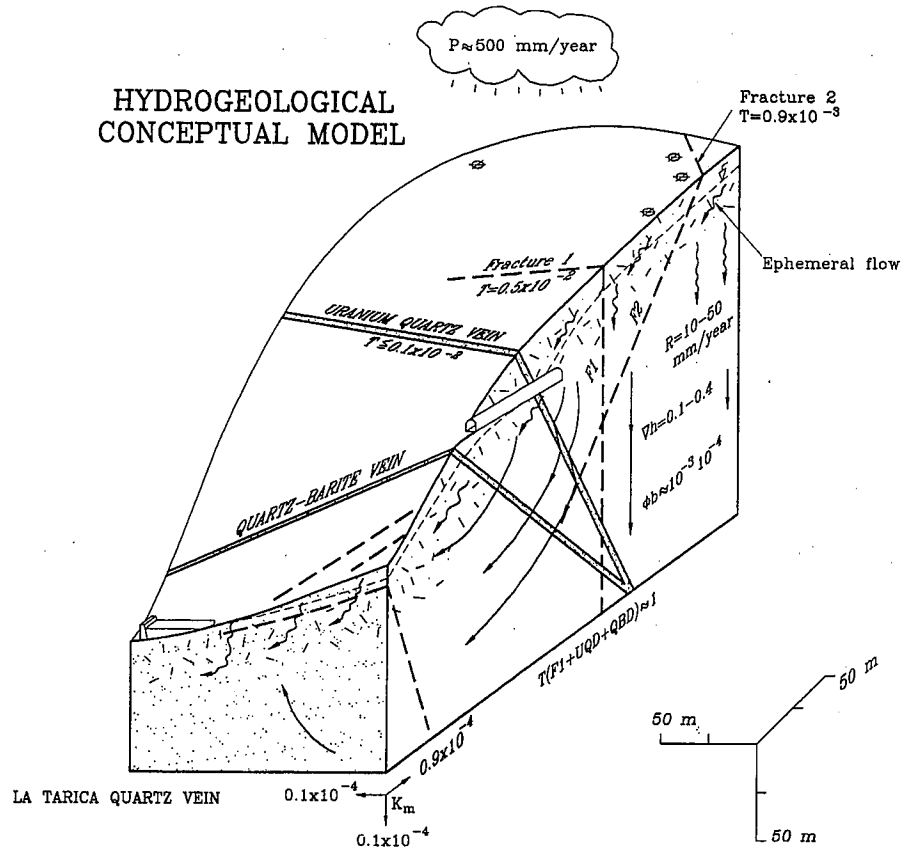


Fig. 3.- Modelo hidrogeológico conceptual del Berrocal.

Fig. 3.- El Berrocal hidrogeological conceptual model.

de riesgo, resulta evidente la necesidad de equipos pluridisciplinarios trabajando para un fin común. Al final, el modelo hidrogeológico constituye una herramienta integradora potente que, cuando se cuantifica numéricamente resulta imprescindible a efectos de predicción. Es importante trabajar a dos escalas para delimitar el contorno del área seleccionada e identificar mejor el sistema de flujo. A escala regional, la identificación de las descargas del macizo combinada con la topografía nos permitirá una primera aproximación al flujo de agua subterránea y los procesos químicos que afectan a los solutos. A escala local, recurrir a la perforación de sondeos ofrece ventajas evidentes de caracterización, además de constituir la infraestructura de la futura red de vigilancia del agua subterránea. Los ensayos hidrodinámicos, combinados con los muestreos hidroquímicos, además de aumentar el conocimiento hidrogeológico del medio, suelen contribuir a la caracterización geológica, especialmente si el modelo estructural es complejo.

### Agradecimientos

Los autores expresan su gratitud a las personas que participaron en las tareas de caracterización del proyecto Berrocal (más

de 50), particularmente a Pedro Rivas (CIEMAT) y a Jesús Carrera (UPC). El proyecto Berrocal fué financiado por ENRESA y parcialmente por la CEC.

### Referencias

- Campos R.; Marin C.; Pérez del Villar L.; Pardillo J. y Ruiz B. *El Berrocal project TGR-1*
- Carrera J. (1987) *Hidrogeol. y Rec. Hidr.* (XIII) 99-129.
- Carrera J. (1991) en Anguita *et al.*, (eds) *Hidrogeol. estado actual y prosp.* 47-69 Ed. CIMNE, Barcelona.
- Gómez P. y 12 autores más. (1996) *El Berrocal project. TGR-6*
- Goodman R.E. (1980) *Introd. Rock. Mech.* John Wiley and Sons.
- Carrer. y 16 autores más. (1996) *El Berrocal project. TGR-2*
- Guimera J.; Bayó A.; Manzano M. y Benet I. (1995) *FCIHS -JR, Barcelona.*
- Hocking G. (1976) *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.* vol.13. 225-226.
- Hoek E. y Bray J.W. (1977) *Rock slope eng. 2a ed. I. Min. and Met.*
- Pérez del Villar L. y 15 autores más. (1996) *El Berrocal project. TGR-3*
- Shirley K. (1995) *Explorer, Dec.* 1-9.