

Influencia de los Minerales de la Arcilla en el Comportamiento Mecánico e Hidráulico de las Rocas Cuarcíticas de la Falla de Carboneras

/ JUAN JIMÉNEZ MILLÁN (*), ISABEL ABAD, MIGUEL LORITE HERRERA, ROSARIO JIMÉNEZ ESPINOSA

Departamento de Geología. Universidad de Jaén. Campus Universitario. Edificio B-3. 23071, Jaén (España)

INTRODUCCIÓN.

El estilo de la deformación en rocas de falla pobres en filosilicatos se caracteriza, generalmente, por la presencia de dominios donde la misma está preferentemente localizada en forma de abundantes superficies de falla pulidas y estriadas. Normalmente, las microestructuras heredadas de los protolitos (tamaño de grano, granoselección, empaquetamiento y área de contacto, fases en la matriz y el cemento como las arcillas, etc.) suelen tener un papel crucial en los procesos de deformación de este tipo de rocas.

La presencia de filosilicatos en zonas de falla, ya sean neoformados o arcillas heredadas, produce generalmente un comportamiento mecánicamente débil de la falla (Wang, 1984). Un factor crítico para comprender el papel que las arcillas juegan en el comportamiento mecánico de las rocas de falla es la determinación del tiempo de formación de las asociaciones minerales y microestructuras en las rocas de falla y el protolito. Los efectos de alteración postcinemáticos limitan considerablemente el estudio sobre el comportamiento de la falla que se puede hacer en las rocas expuestas, especialmente si se trata de materiales cuyo origen se debe a procesos de deformación frágil. Sin embargo, las trazas de zonas de falla jóvenes, recientemente exhumadas y expuestas en regiones de clima árido proporcionan una buena oportunidad para el estudio de las reacciones minerales favorecidos por la deformación.

En este trabajo se analiza la influencia de los filosilicatos en las propiedades mecánicas e hidráulicas de rocas cuarcíticas en zonas de falla y su posible influencia en el comportamiento sísmico general de la zona. Con este fin, se ha seleccionado la zona de la Falla de

Carboneras (Cordillera Bética, SE España), que está localizada en una región de clima árido y se caracteriza por la presencia de afloramientos de rocas cuarcíticas incluidos en rocas foliadas.

CONTEXTO GEOLÓGICO Y MATERIALES ESTUDIADOS.

La actividad tectónica durante el Neógeno y Cuaternario en el sureste de la Cordillera Bética es dominada por un gran sistema NE-SW de fallas de salto en dirección que incluye de N a S las fallas de Carrascoy, Bajo Segura, Alhama de Murcia, Palomares y Carboneras. La zona de la Falla de Carboneras es, con diferencia, la más larga y continua de la Cordillera Bética y, por tanto, es la candidata más propicia para generar terremotos de gran magnitud (Gracia et al., 2006). La sismicidad se caracteriza fundamentalmente por eventos de magnitud moderada-baja. Sin embargo, en esta región han tenido lugar terremotos de gran capacidad destructiva, que confirman que en las costas del S de España y del N de África el riesgo de terremotos y tsunamis es alto (IGN, 2001; Masana et al., 2004).

Debido a la estructura interna de la zona de falla de Carboneras, se observan lentes de cizalla con esquistos del basamento Alpino yuxtapuestas a lentes de cizalla de sedimentos post-orogénicos de edad Mioceno y Plioceno, formadas por secuencias de margas y areniscas. También aparecen lentes con rocas volcánicas de carácter calcoalcalino a potásico de edad Mioceno Medio a Pleistoceno (Duggen et al., 2004). La comparación entre los materiales deformados y sus protolitos es posible gracias al desarrollo de bandas de escala cm-m de cataclasitas en los sedimentos post-orogénicos ricos en cuarzo. En la zona estudiada se han

identificado areniscas rojas, amarillas y blancas, así como sus respectivas cataclasitas. Este trabajo se centra, precisamente, en el estudio de este conjunto de materiales.

ASOCIACIONES MINERALES Y FÁBRICAS.

Protolitos.

Los datos de difracción de rayos-X indican que la asociación mineral predominante en las muestras no deformadas es la de cuarzo, mica, clorita y calcita. El estudio petrográfico mediante microscopía óptica y electrónica revela que las areniscas presentan una granoselección muy pobre, con un tamaño de grano que oscila de fino a medio. Los granos de filosilicatos (mica y clorita) se disponen en torno a los granos detríticos de cuarzo y calcita. La alineación de define una débil foliación. Los granos de cuarzo suponen más del 70% del volumen de estas rocas. Las areniscas rojas contienen una cantidad más alta que el resto en hematites (15%), mientras que las areniscas amarillas se caracterizan por presentar apatito, rutilo y pirita, en bajas proporciones, alterada a hematites.

Rocas deformadas.

Los datos de difracción de rayos-X indican que aunque la asociación mineral de estas rocas está muy condicionada por el protolito, las areniscas deformadas se hallan enriquecidas en filosilicatos, sobre todo, en clorita. Las muestras más afectadas por la deformación se caracterizan, además, por la presencia de yeso y dolomita. El estudio mediante microscopía pone de manifiesto que en las rocas de la zona de falla hay una distribución heterogénea de la deformación. La deformación está muy localizada, en forma de bandas ricas en

palabras clave: areniscas, agregados de clorita, deformación, circulación de fluidos.

key words: sandstones, chlorite aggregates, deformation, fluid circulation

filosilicatos (clorita y mica, fundamentalmente), muy foliadas y de tamaño muy fino. Además, la deformación provocada por la falla es responsable de la reducción del tamaño de grano del cuarzo por fracturación frágil y deslizamiento de los límites de grano. En algunos casos, se observan rasgos propios de un comportamiento plástico (extinción ondulante). En cuanto a la dolomita y el yeso, se localizan comúnmente en venas, además de en áreas recementadas de las microcataclasitas. En algunas lentes no deformadas de las cataclasitas se han desarrollado agregados globulares de filosilicatos de tamaño variable formados cristales desorientados de clorita y mica.

COMPOSICIÓN DE LOS MINERALES.

Los análisis SEM-EDX ponen de manifiesto tres variedades composicionales de micas en las areniscas que se han estudiado. Las micas detríticas que definen una foliación débil en las rocas se caracterizan por altos contenidos de Na (> 0.47 átomos por fórmula unidad, a.p.f.u.) y muy bajos contenidos en Fe y Mg (comúnmente <0.1 a.p.f.u.). Alrededor de los clastos de cuarzo se han podido identificar algunas micas fengíticas pobres en Na y con contenidos en Fe+Mg >0.5 a.p.f.u.. Las micas identificadas en los agregados desorientados de clorita-mica dentro de las lentes no deformadas de las cataclasitas son pobres en Fe y Mg (<0.11 a.p.f.u.). Las tres variedades composicionales descritas se han identificado en las zonas deformadas. En todos los casos, los análisis de las micas se caracterizan por un déficit muy suave en el contenido de cationes en la interlámina.

Por otro lado, las imágenes de electrones retrodispersados revelaron dos tipos composicionales de clorita intercrecidos. Existe una diferencia sistemática en la composición química de los dos tipos de clorita: la clorita más brillante es rica en Fe (>2.46 a.p.f.u.) mientras que la clorita oscura corresponde a una variedad rica en Mg (>2.37 a.p.f.u.). Sin embargo, no se han observado diferencias composicionales significativas en las cloritas deformadas en las bandas de deformación, respecto a las cloritas de los agregados desorientados.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Gracias a la ausencia de una meteorización posterior al desarrollo de la falla, la Falla de Carboneras proporciona la oportunidad de estudiar los procesos de deformación asociados a la fracturación. El estudio combinado mediante difracción de rayos-X, microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido ha permitido concluir que durante el fallamiento no tuvo lugar un crecimiento significativo de minerales de la arcilla en estas rocas.

La ausencia de diferencias composicionales entre los filosilicatos deformados y los no deformados sugiere que, a pesar de la presencia de fluidos durante el proceso, las areniscas no se vieron prácticamente afectadas por los mismos, evitando así la alteración sincinemática de los filosilicatos. Sin embargo, las arcillas han debido jugar un papel importante en el comportamiento mecánico de las areniscas en la zona de falla. Así, la deformación está muy localizada en las areniscas ricas en clorita. Estas areniscas muestran una sustancial recristalización de arcillas, cuya textura puede relacionarse con un origen hidrotermal antes del fallamiento, probablemente asociado con la actividad volcánica del área, que condujo a la formación de agregados de clorita-mica.

Estos datos indican que, aunque la elevada presión de fluidos confinada por la fábrica de las arcillas no puede ser apelada para explicar el comportamiento mecánico de las areniscas en la Falla de Carboneras, las fábricas de las arcillas desarrolladas durante la deformación dominaron el mecanismo de debilitamiento de la zona de falla. Se considera que las propiedades lubricantes de los filosilicatos en las rocas cuarcíticas fue un factor importante en el control de los mecanismos de movimiento, promoviendo el predominio de deslizamientos asísmicos progresivos respecto a los desplazamientos sísmicos bruscos periódicos (Chester et al., 1993; Morrow et al., 2000; Bedrosian et al., 2004) reduciendo la posibilidad de eventos sísmicos mayores nucleados en planos de falla localizados desarrollados dentro de las rocas cuarcíticas contenidas en la zona de falla. Finalmente, la cristalización de dolomita y yeso en las zonas más deformadas de

las microcataclasitas pudo estar relacionado con episodios recientes de baja temperatura y circulación de aguas altamente salinas. Esto sugiere que la cataclasis podría ser la responsable del control de la trayectoria y circulación de los sistemas acuíferos actuales.

AGRADECIMIENTOS.

Trabajo financiado por el grupo RNM-325 de la Junta de Andalucía y el proyecto CGL2007-66744-CO2-02 del Ministerio de Educación y Ciencia.

REFERENCIAS.

- Bedrosian, P.A., Unsworth, M.J., Egbert, G.D. & Thuerber, C.H. (2004): Geophysical images of creeping segment of the San Andreas Fault: Implications for the role of crustal fluids in the earthquake process. *Tectonophysics*, **385**, 137–158.
- Chester, F., Evans, J.P. & Biegel, R.L. (1993): Internal structure and weakening mechanisms of the San Andreas Fault. *J. Geophys. Res.*, **98**, 771–786.
- Duggen, S., Hoernle, K. & van der Bogaard, H. (2004): Magmatic evolution of the Alboran region: the role of subduction in forming the western Mediterranean and causing the Messinian Salinity Crisis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **218**, 91–108.
- Gracia, E., Palla, R., Soto, J.I., Comas, M., Moreno, X., Masana, E., Santanach, P., Díez, S., García, M., Dañobeitia, J. & HITS scientific party (2006): Active faulting offshore SE Spain (Alboran Sea): Implications for earthquake hazard assessment in the Southern Iberian Margin. *Earth and Planetary Science Letters*, **241**, 734–749.
- Instituto Geográfico Nacional, Catálogo Sísmico Nacional hasta el 2001, IGN, Madrid, Spain, (2001): <http://www.geo.ign.es/servidor/sismo/cnis>
- Masana E., Martínez-Díaz, J.J., Hernández-Enrile, J.L. & Santanach, P. (2004): The Alhama de Murcia fault (SE Spain), a seismogenic fault in a diffuse plate boundary: seismotectonic implications for the Ibero-Magrebien region. *J. Geophys. Res.*, **109**, 1–17.
- Morrow, C.A., Moore, D.E. & Lockner, D.A. (2000): The effect of mineral bond strength and adsorbed water on fault gouge frictional strength. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 815–818.
- Wang, C.Y. (1984): On the constitution of the San Andreas fault zone in central California. *J. Geophys. Res.*, **89**, 5858–5866.