

Análisis de la deformación a partir del estudio de la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) en una estructura de pliegues y cabalgamientos. Ejemplo de un corte del sector central del Pirineo Oscense

Ó. Pueyo¹, Á. González¹, J. Ipas¹, J. Manuel^{1,4}, J.Á. Orgaz¹, Á. Rodés², F. Teixido³, A. Gil¹ y H. Millán¹

1 Dpto. de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, c/ Cerbuna 12, 50009 Zaragoza. opueyo@unizar.es

2 Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, Zona Universitaria de Pedralbes, 08028 Barcelona.

3 Instituto Jaume Almera (CSIC), Zona Universitaria de Pedralbes, 08028 Barcelona.

4 Universidade Agostinho Neto, Av. 4 de Fevereiro 7, 815 Luanda (Angola).

ABSTRACT

A pyrenean section has been studied in order to search for a relationship between magnetic fabric (AMS) and deformation. The section, which is normal to the main ESE-WNW macrostructures, comprises materials from Devonian to Eocene (seven stations, with a total of 52 cores). It has been observed that in the internal zone of the chain the K1 AMS axis is parallel to the tectonic transport direction, and is transversal to the major structures. In the external zone, however, it is parallel to the major structures. These results indicate that the magnetic lineation may be due to shearing during thrusting in the internal zone, and to flexural folding in the external one. This work stresses the utility of AMS in structural analysis.

Key words: AMS, Central Pyrenees, deformation, magnetic fabric.

INTRODUCCIÓN

La fábrica magnética derivada del estudio de la anisotropía de la susceptibilidad magnética (ASM) es un reflejo de la orientación preferente de granos (anisotropía de forma) o redes cristalinas (anisotropía cristalina) de minerales fundamentalmente ferro y paramagnéticos. La susceptibilidad magnética (k) puede describirse como un tensor simétrico de segundo orden que relaciona la magnetización inducida (M) en un espécimen de volumen estándar y el campo aplicado (H) de baja intensidad ($\leq 0,1$ mT); $M = kH$. Geométricamente la susceptibilidad puede expresarse como un elipsoide cuyos tres ejes ($K1$, $K2$ y $K3$) representan las direcciones de susceptibilidad máxima, intermedia y mínima respectivamente. Para elipsoides oblatos $K1 \approx K2 > K3$ y para elipsoides prolatos $K1 > K2 \approx K3$.

Una de las aplicaciones más extendidas de la técnica de la ASM es la comparación de la fábrica magnética con la tectofábrica como base para determinar la influencia de distintos mecanismos de deformación. En el caso de los minerales paramagnéticos, omnipresentes en distintos tipos de rocas detríticas, tales como minerales de la arcilla o micas, la anisotropía de forma de los cristales se relaciona de un modo directo con los factores extrínsecos responsables de su configuración espacial en la roca. De este modo, al igual que el análisis estructural, la ASM puede ser empleada para analizar distintos aspectos relacionados con la historia

deformacional sufrida por la roca (Avervuch *et al.*, 1992; Parés *et al.*, 1999).

En el presente trabajo se estudia la fábrica magnética de rocas, a lo largo de un corte N-S en el sector central del Pirineo, involucradas en distintos dominios estructurales con el fin de analizar el patrón de deformación.

La zona objeto de estudio se sitúa en el valle del río Aragón (Pirineo de Huesca), entre las localidades de Jaca y Candanchú, abarcando Zona Axial, Sierras Interiores y Cuenca de Jaca (véase Muñoz *et al.*, 1983). Los materiales se encuentran afectados por una serie de cabalgamientos y pliegues vergentes al sur, entre los cuales se incluye el de Gavarnie, en cuyo bloque superior se localizan las estaciones muestreadas (Fig. 1). En este sector la orientación preferente de las macroestructuras es N110E y la dirección de transporte tectónico es hacia el SSO (Teixell, 1992). Además de las estructuras cabalgantes y pliegues asociados, desde el punto de vista de la deformación interna, las unidades del bloque superior se encuentran afectadas por esquistosidad de plano axial asociada a los primeros estadios de emplazamiento de las láminas cabalgantes (Muñoz *et al.*, 1983; Teixell, 1992). El frente meridional de esta esquistosidad se sitúa en el tramo margoso del *flysch* eoceno (Choukroune y Seguret, 1973; Labaume *et al.*, 1985), entre las estaciones 5 y 6 del presente trabajo (Fig. 2a). Esta esquistosidad se encuentra afectada por pliegues de orientación ESE-ONO que la deforman coaxialmente.

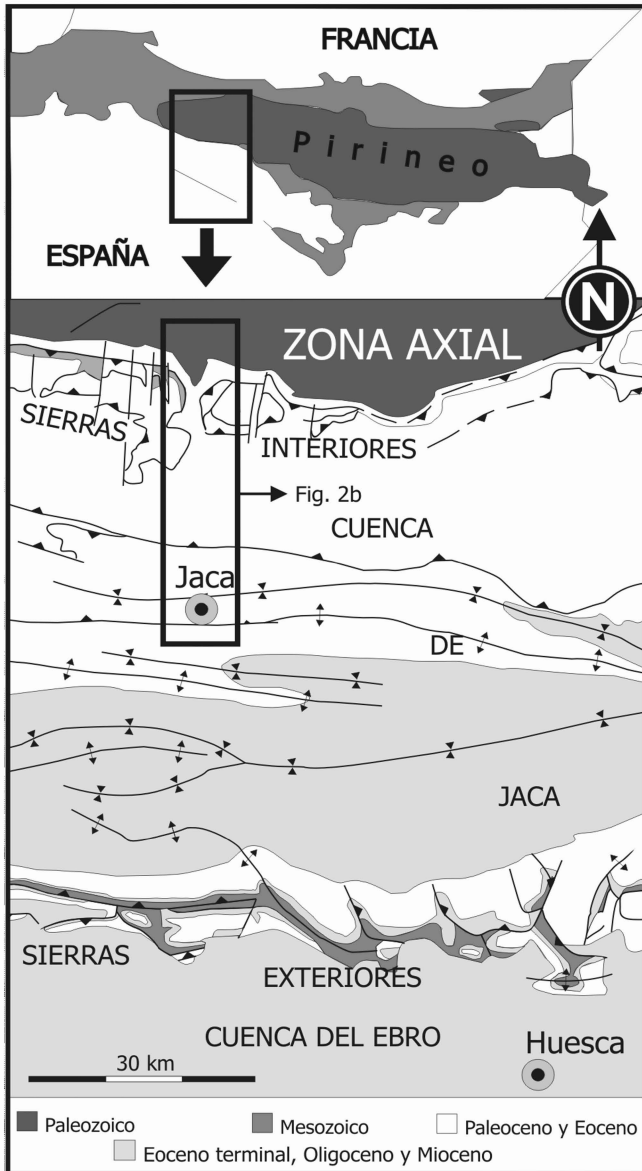


FIGURA 1. Mapa geológico del Pirineo central y localización del área estudiada.

METODOLOGÍA

Un total de 52 muestras (131 especímenes) distribuidas en siete estaciones, se extrajeron con ayuda de una perforadora portátil refrigerada por agua. Las medidas de la ASM se han determinado con un susceptómetro KLY-03 (AGICO), con un campo magnético de baja intensidad ($\approx 300 \text{ Am}^{-1}$), basado en la medida de las susceptibilidades a lo largo de 15 direcciones preestablecidas (Jelinek, 1981). La media aritmética para cada estación de los distintos parámetros de ASM se muestran en la tabla 1.

La susceptibilidad magnética media de cada espécimen viene expresada por el parámetro $Km = (K1 + K2 + K3)/3$, donde $K1$, $K2$ y $K3$ representan los ejes de susceptibilidad máxima, intermedia y mínima del elipsoide de susceptibilidad

TABLA 1. Valores promedio (media aritmética) para cada estación de los distintos parámetros magnéticos utilizados.

Estación	N	Km	Pj	Tj
Ca01	13	130	1.048	0.670
Ca02	16	60	1.091	0.130
Ca03	22	219	1.027	0.001
Ca04	17	222	1.033	0.260
Ca05	19	243	1.065	-0.477
Ca06	16	65	1.048	0.531
Ca07	19	167	1.062	0.417

N= número de especímenes; Km= susceptibilidad media ($\times 10^{-6}$) Pj= grado de anisotropía; Tj= simetría de forma.

magnética. La forma de los elipsoides magnéticos se ha caracterizado mediante el parámetro $Tj = (2 \ln K2 - \ln K1 - \ln K3) / (\ln K1 - \ln K3)$ (Jelinek 1981; Hrouda, 1982). Por último, el grado de anisotropía magnética se ha cuantificado mediante el parámetro $Pj = \exp [2(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)]^{1/2}$ donde $a_1 = \ln (K1 / Kb)$, etc. y $Kb = Km$ (Jelinek, 1981; Hrouda, 1982).

Las muestras analizadas están representadas por areniscas rojas de edad pérmica (estación CA01), calizas grises devónicas (CA02), margas y calizas cretácicas (CA03 y CA04), calizas paleocenas, (CA05) y margas eocenas (CA06 y CA07). La ubicación de las diferentes estaciones es la mostrada en la figura 2.

RESULTADOS

El análisis direccional de la fábrica magnética se ha realizado mediante la proyección estereográfica de los ejes principales de susceptibilidad (Fig. 2a). Para caracterizar la forma de los elipsoides magnéticos se han utilizado los gráficos de anisotropía de cada estación en los que se relacionan la forma (Tj) y el grado de anisotropía (Pj) de los elipsoides magnéticos (Fig. 2a).

La estación CA01, correspondiente a una arenisca de la serie roja del Pérmico se caracteriza por mostrar una foliación magnética (dispersión de los ejes $K1$ y $K2$ y relativa buena concentración de $K3$) paralela a la traza media de la esquistosidad medida en el campo. La forma de los elipsoides es predominantemente oblata. La estación CA02 ha sido muestreada en un anticlinal de escala decamétrica afectando a calizas devónicas. Los elipsoides magnéticos, con formas más triaxiales ($0,5 \geq Tj \geq -0,5$), muestran un patrón direccional coaxial respecto a los elementos estructurales. Como muestra el estereograma de esta estación (Fig. 2a), los ejes $K2$ se agrupan en torno al eje del pliegue y los otros dos están dispersados en el plano perpendicular. Las estaciones CA03 y CA04 fueron muestreadas en margas y calizas del Campaniense y calizas detríticas del Maastrichtiense respectivamente. En ambos casos queda bien definida una lineación magnética (agrupamiento de $K1$) con rumbo hacia el

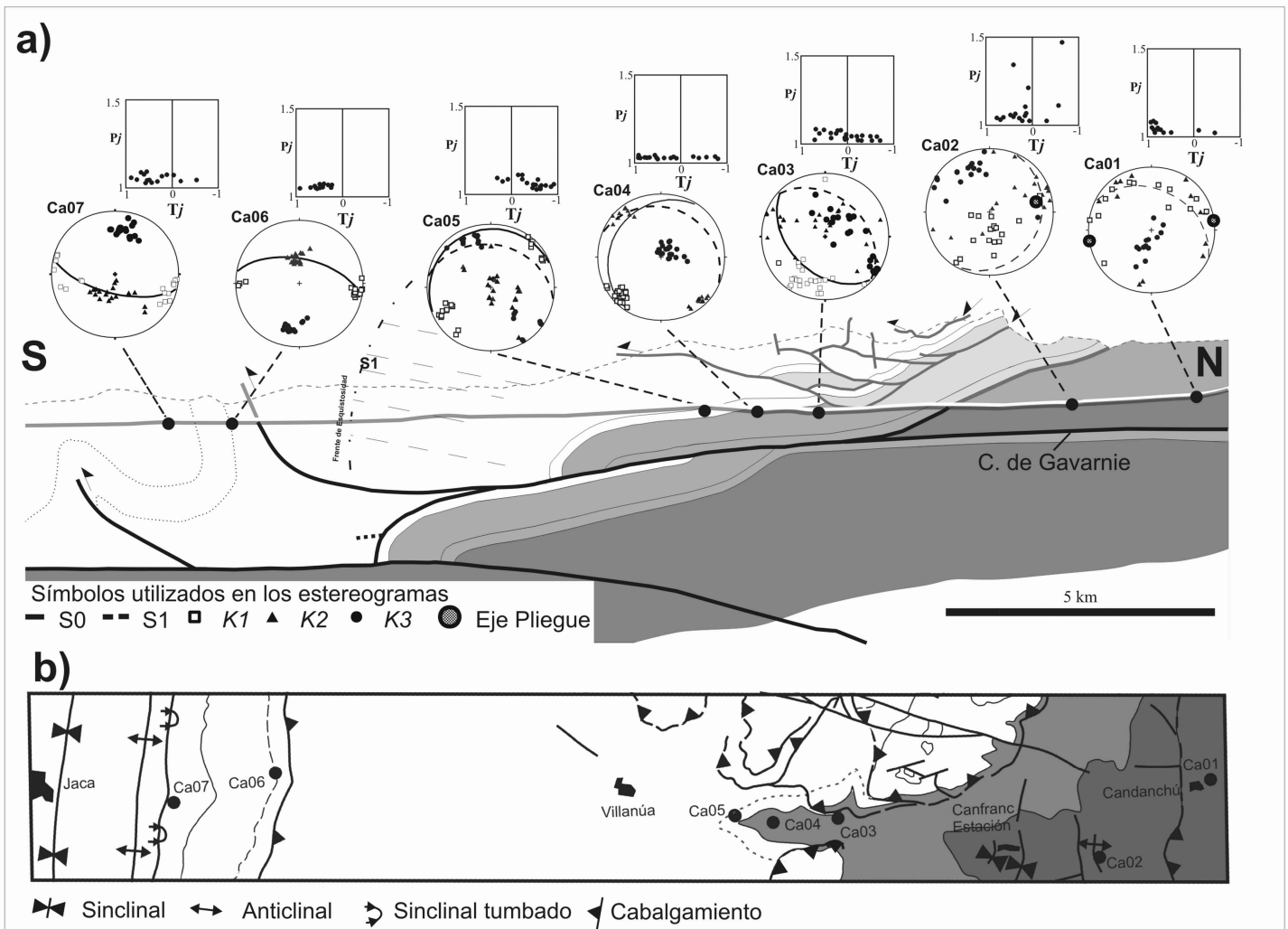


FIGURA 2. a) Corte geológico del sector estudiado (basado en Teixell y García-Sansegundo, 1995). La línea gris representa la topografía de la transversal del río Aragón. Proyección estereográfica de los datos de susceptibilidad magnética, estratificación y esquistosidad (datos de campo) y gráficos de anisotropía para las distintas estaciones. b) Cartografía geológica del sector de estudio (basado en Teixell, 1992).

SO (Fig. 2a), apreciándose una gran variación en la forma de los elipsoides magnéticos con formas tanto oblatas como prolatas (Fig. 2a). En las dos estaciones la lineación magnética queda contenida (CA04) o se sitúa muy próxima a la estratificación (CA03). La estación CA05 se localiza en materiales carbonatados paleocenos. Al igual que en los casos anteriores la lineación magnética, de orientación NE-SO, queda contenida en la estratificación subhorizontal con los ejes $K2$ y $K3$ dispersados en un plano oblicuo a la esquistosidad media medida en el campo. La forma de los elipsoides magnéticos, netamente prolata, es compatible con el patrón direccional.

Las dos últimas estaciones (CA06 y CA07) se localizan fuera del dominio de la esquistosidad. La primera corresponde a una megacapa de una secuencia turbidítica eocena (megacapa del Roncal o nº 5) y la segunda a niveles margosos eocenos de la cuenca de Jaca. Como se observa en los estereogramas de la figura 2a, en ambos casos la lineación magnética presenta una orientación ESE-OSO paralela al

rumbo de las capas y a los ejes de las principales macroestructuras. La forma de los elipsoides es predominantemente oblata (Fig. 2a).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Del análisis direccional y de la forma de los elipsoides magnéticos, se desprende que todas las rocas estudiadas presentan una fábrica magnética de origen tectónico. En algunos casos (CA01, CA02, CA06, CA07) la correlación entre la fábrica magnética y los elementos estructurales es directa: foliación magnética paralela a la esquistosidad y elipsoides oblatos (CA01), ejes $K2$ paralelos al eje de los pliegues, ejes $K1$ compatibles con la dirección de amplificación de la estructura y elipsoides triaxiales (CA02) o lineación magnética paralela al eje de los principales pliegues cartográficos (CA06 y CA07).

El resto de las estaciones (CA03, CA04 y CA05) no muestran, sin embargo, un grado de coaxialidad evidente

entre la orientación media de los elipsoides magnéticos y los elementos estructurales. En todos los casos la lineación magnética no aparece contenida en la esquistosidad y, sin embargo, muestra una orientación constante sobre la estratificación. El paralelismo entre la orientación de la lineación magnética y la dirección de transporte tectónico (hacia el SSO) deducido de la vergencia general de las macroestructuras a lo largo del corte estudiado (Teixell, 1992), sugiere el origen tectónico de esta fábrica magnética.

Considerando el origen tectónico de estas fábricas, es posible establecer algunas consideraciones cinemáticas y de cronología relativa de procesos deformacionales. En primer lugar la influencia de los mecanismos de deformación, a distintas escalas, en el desarrollo de la fábrica magnética: fábrica asociada a la esquistosidad (CA01), fábrica asociada a plegamiento (CA02, CA06 y CA07) o fábrica asociada a cizalla (CA03, CA04, CA05). Parece, por otro lado, que la fábrica magnética en algunos casos (estaciones CA03, CA04 y CA05) no refleja el primer episodio deformacional (el asociado al desarrollo de esquistosidad). Teniendo en cuenta el marco macroestructural, la fábrica magnética en estos puntos es compatible con la dirección de cizalla paralela al transporte tectónico regional, proceso tectónico que postdata a la etapa esquistosa.

Aunque serían necesarios un mayor número de datos para constreñir los efectos de diferentes eventos deformativos, la técnica de la ASM se revela entonces como una herramienta de gran utilidad a la hora de detectar efectos tardíos de la historia deformacional de rocas multideformadas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo cumple objetivos del curso "La Fábrica Magnética y la Geología Estructural" del programa de Doctorado "Geología" del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. Los autores agradecen

los consejos, aportaciones y comentarios del Dr. Andrés Pocoví Juan y la constructiva revisión de la Dra. Teresa Román Berdiel.

REFERENCIAS

- Averbuch, O., Frizon de Lamotte, D. y Kissel, C. (1992): Magnetic fabric as a structural indicator of the deformation path within a fold-thrust structure: a test case from the Corbières (NE Pyrenees, France). *Journal of Structural Geology*, 14: 461-474.
- Choukroune, P. y Seguret, M. (1973): *Carte structurale des Pyrénées*. Université des Sciences en Techniques du Languedoc / Elf.-ERAP. Bousens.
- Hrouda, F. (1982): Magnetic anisotropy and its application in geology and geophysics. *Geophysical Survey*, 5: 37-82.
- Jelinek, K. (1981): Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79: 63-78.
- Labauve, P., Seguret, M. y Seyve, C., (1985) Evolution of a turbiditic foreland basin and analogy with an accretionary prism: example of the Eocene South-Pyrenean Basin. *Tectonics*, 4: 661-685.
- Muñoz, J.A., Puigdefábregas, C. y Fontboté, J.M. (1983): Orógenos alpinos: El Pirineo. En: *Geología de España. Libro Jubilar J.M. Ríos*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 2: 161-168.
- Pares, J.M., Van der Pluijm, B. A. y Dinarés-Turell, J. (1999): Evolution of magnetic fabrics during incipient deformation of mudrocks (Pyrenees, Northern Spain). *Tectonophysics*, 307: 1-14.
- Teixell, A. (1992): *Estructura alpina en la transversal de la terminación occidental de la zona axial pirenaica*. Tesis doctoral, Univ. de Barcelona, 252 p.
- Teixell, A. y García-Sansegundo, J. (1995): Estructura del sector central de la Cuenca de Jaca (Pirineos meridionales). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 8: 215-228.