

# Fábrica magnética en las limolitas wealdenses del borde oriental de la Cuenca de Cameros (Cordillera Ibérica): correlación con la deformación finita

*Magnetic fabric of wealdian siltstones from the eastern border of the Sierra de Cameros (NW Iberian Chain) : correlation with strain*

A. Gil Imaz (\*) y J.M. Parés (\*\*)

(\*) Dpto. de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. Plaza de San Francisco s/n. 50008-Zaragoza.

(\*\*) Instituto de Ciencias de la Tierra, C.S.I.C. Barcelona. Martí i Franques s/n. 08028-Barcelona.

## ABSTRACT

The Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS) of some wealdian siltstones outcropping in the eastern border of the Sierra de Cameros (NW Iberian Chain) has been analyzed in order to establish its correlation with strain. In all the analyzed sites the magnetic fabric can be related with structural indicators. Directional data of the susceptibility ellipsoid show a good correlation with the principal directions of the strain ellipsoid:  $K_{min}$  parallel to Z direction and the magnetic lineation (grouping of  $K_{max}$ ) is closely related with the X direction in those sites where triaxial ellipsoids are dominant. Strain analysis carried out on deformed nodules included within wealdian siltstones has also revealed a close relationship between the shape of both AMS and strain ellipsoids in low strain conditions.

**Key words:** Sierras de Cameros, Magnetic fabric, strain ellipsoid.

Geogaceta, 20 (5) (1996), 1047-1049

ISSN:0213683X

## Introducción

La aplicación del análisis de la fábrica magnética de las rocas a la interpretación de la petrográfica se remonta al trabajo de Graham (1954). Desde entonces numerosos trabajos se han centrado en el grado de equivalencia cualitativa y cuantitativa entre la deformación natural y la fábrica magnética de las rocas. Estos estudios demuestran que en rocas deformadas los ejes principales del elipsoide de la susceptibilidad coinciden con las direcciones principales del elipsoide de deformación (Rathore, 1979; Hrouda y Janak, 1976; Borradaile y Tarling, 1981; Parés y Dinarés, 1993). De este modo el eje de susceptibilidad mínima ( $K_{min}$ ) coincide con la dirección media del polo de la esquistosidad y la lineación magnética, definida por el agrupamiento de los ejes de susceptibilidad máxima ( $K_{max}$ ), es paralela a la lineación de estiramiento mineral. A diferencia de los métodos clásicos de análisis de la deformación finita de las rocas, la fábrica magnética derivada del análisis de la anisotropía de la susceptibilidad magnética (ASM) constituye una técnica no destructiva y de rápida aplicación muy ventajosa al permitir su aplicación a una gran variedad de materiales.

Cuando además de indicadores estructurales, tales como esquistosidad y lineaciones minerales, se dispone de marcadores convencionales de la deformación es posible realizar consideraciones sobre el grado de correlación entre las

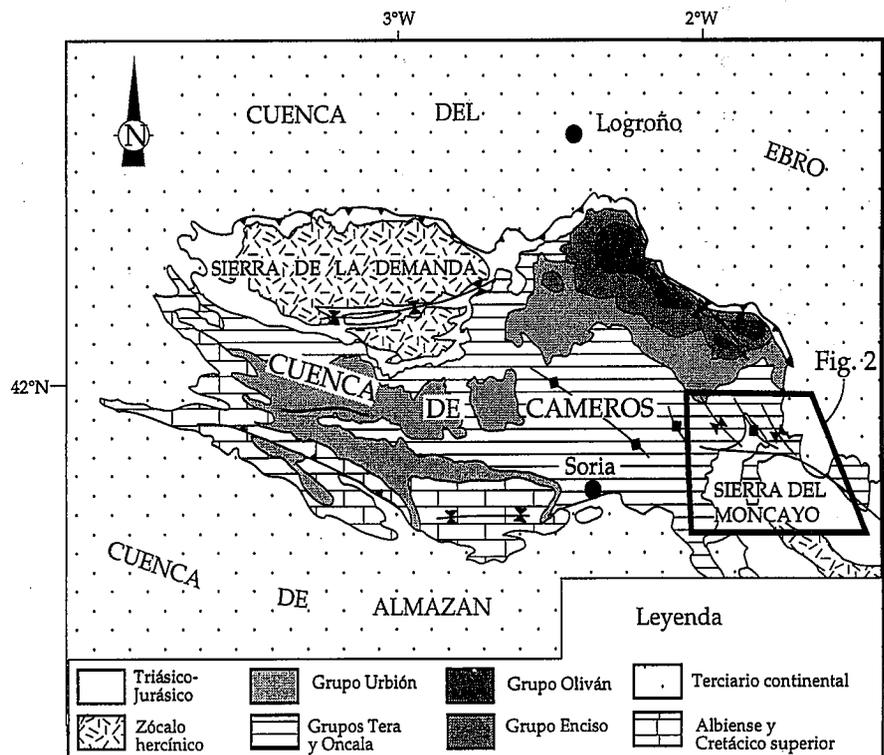


Fig.1.- Situación de la zona estudiada dentro del contexto de las Sierras de Cameros.

Fig. 1.- Location of the studied area within the Sierras de Cameros.

magnitudes de los elipsoides magnéticos y de deformación. Con el presente estudio pretendemos contrastar la técnica de la ASM a partir de la comparación de los resultados magnéticos con

los obtenidos del análisis de la deformación finita sobre nódulos deformados que se encuentran incluidos en la matriz de limolitas wealdenses del sector oriental de la cuenca cretácica de Cameros

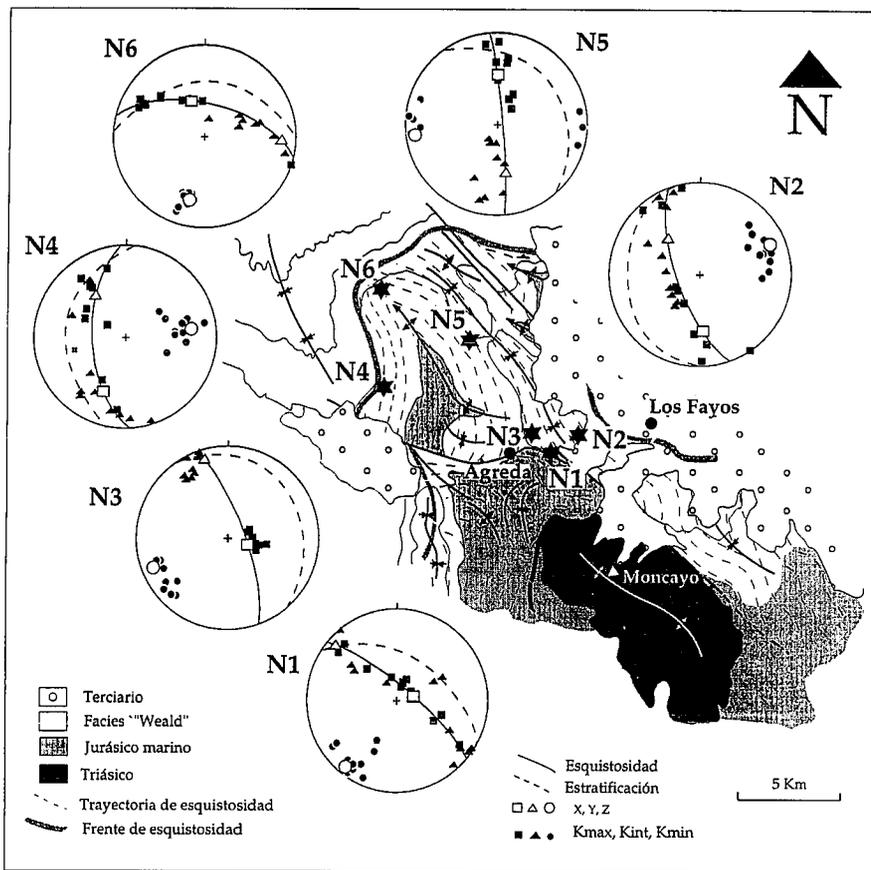


Fig. 2.- Mapa geológico simplificado del borde oriental de las Sierras de Cameros con la localización de las estaciones de muestreo. En los estereogramas se reflejan las orientaciones de los ejes principales del elipsoide de susceptibilidad magnética (Kmax., Kint., Kmin.) y las de los ejes principales de la deformación (X, Y, Z).

Fig.2.- Simplified geological map of the eastern border of the Sierras de Cameros and the location of the sampled sites (N1...N6). The stereoplots show the relationship between the principal axis of the susceptibility ellipsoid (Kmax., Kint., Kmin.) and the principal strain axis (X, Y, Z).

(Fig. 1).

### La Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética

La ASM refleja la orientación estadística preferente de granos y redes cristalinas de todas las fases minerales que contribuyen a la susceptibilidad global de las rocas (fundamentalmente minerales ferro y paramagnéticos). La susceptibilidad magnética relaciona el campo aplicado (H) sobre la muestra y la magnetización (M) inducida en ella según la relación  $M=kH$ . La representación física de la propiedad es un elipsoide cuyos tres ejes principales Kmax, Kint y Kmin se corresponden con los "eigenvectores" del tensor de susceptibilidad.

La forma y orientación de este elipsoide permite caracterizar la fábrica magnética de las rocas. Cuando  $K_{max}=K_{int} \gg K_{min}$  los elipsoides tienen forma aplastada y se habla de fábrica planar. Cuando  $K_{max} \gg K_{int}=K_{min}$  los elipsoides tienen forma alargada y se habla de fábrica lineal. En el presente trabajo la forma del elipsoide de susceptibilidad se ha caracterizado por medio de los parámetros  $L=K_{max}/K_{int}$  (lineación magné-

tica) y  $F=K_{int}/K_{min}$  (foliación magnética) cuyo significado es análogo a las relaciones X/Y e Y/Z del gráfico de Flinn de la deformación. Además de estos parámetros se han empleado el grado de anisotropía "P" (Jelinek, 1981) como indicador del grado de organización de la fábrica magnética y la simetría de la forma "T" (Jelinek, 1981) para caracterizar la forma de los elipsoides. Valores de T entre 0 y 1 son propios de elipsoides achatados mientras que valores entre 0 y -1 corresponden a elipsoides alargados

El estudio de la ASM se ha realizado sobre una media de 8 a 10 especímenes cilíndricos de  $10^4 \text{ cm}^3$  de volumen. Las medidas se han hecho mediante un susceptómetro Kappabridge KLY-2.02 (Geofyzika Brno.) en el Laboratorio de Paleomagnetismo del Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera" (C.S.I.C.) de Barcelona. Se han analizado un total de 6 estaciones localizadas en el tramo basal del Grupo de Oncala (Tischer, 1966) aflorante en el borde oriental de la cuenca de Cameros (Fig. 2). Análisis por difracción de rayos-X, estudio petrográfico y experimentos de baja temperatura han mostrado que la susceptibilidad magnética de las rocas estudiadas esta relacionada con la presencia de minerales para-

magnéticos (clorita y moscovita).

En todas las muestras analizadas la fábrica magnética puede ser relacionada con los indicadores estructurales, demostrándose su origen tectónico. La foliación magnética, definida por los ejes Kint y Kmax, es siempre paralela a la esquistosidad y los ejes de susceptibilidad mínima (Kmin) tienden a concentrarse en torno al polo medio de los planos de esquistosidad (Fig. 2). En algunas estaciones (N3 y N5), además de las características señaladas, los ejes Kmax definen una lineación magnética sobre el plano de esquistosidad paralela al eje X del elipsoide de deformación finita. Como muestra el gráfico L/F de susceptibilidad (Fig. 4B) los elipsoides magnéticos tienen forma achatada con valores del grado de anisotropía (P) entre 1.015 y 1.055. Sin embargo, como se mostrará más adelante, las diferencias en los valores de los parámetros L y F están de acuerdo con la petrofábrica de cada estación.

### Análisis de la deformación finita

En el sector oriental de la Cuenca de Cameros, las limolitas del tramo inferior del Grupo de Oncala (Tischer, 1966) se caracterizan por presentar nódulos cloríticos con un distinto grado de deformación sobre los planos de esquistosidad, de plano axial, penetrativa a todas las escalas (Gil y Pocoví, 1994). Estos nódulos representan unos marcadores de la deformación ideales al presentar una composición similar a la de la matriz donde aparecen incluidos.

La cuantificación de la deformación finita se ha llevado a cabo mediante la aplicación de la técnica  $Rf/\theta$  (Ramsay, 1967; Dunnet, 1969) a los nódulos cloríticos deformados. Las medidas se han realizado sobre fotocopias ampliadas de tres superficies mutuamente perpendiculares correspondientes a las tres secciones principales del elipsoide de deformación (Fig. 3A). Para cada sección, y a partir de una media de 200 medidas, se han obtenido las relaciones axiales del elipsoide de deformación:  $R_{sxy}$ ,  $R_{syx}$  y  $R_{sxz}$ . En la figura 3B se han representado, para cada sección principal, los resultados de las medidas angulares ( $\theta$ ) y de relaciones axiales (Rf) de todas las estaciones. Por otro lado, a partir de la orientación de referencia de cada muestra se han obtenido las orientaciones de los ejes principales que aparecen representados en los estereogramas de la figura 2. Los resultados de la aplicación de la técnica  $Rf/\theta$  sobre los marcadores de las distintas estaciones han revelado una moderada tasa de deformación para estas rocas con valores de Rs que oscilan entre 1.3-1.45 para la sección XY y 1.8-2.4 para la XZ.

### Correlación entre la ASM y la deformación finita. Discusión y Conclusiones

La representación conjunta de los datos direccionales correspondientes a los ejes del elips-

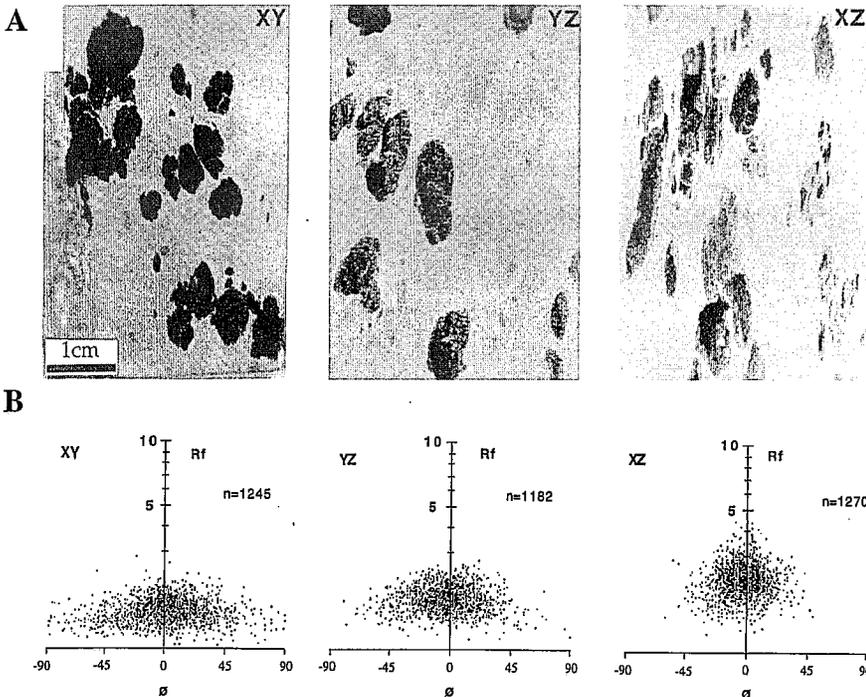


Fig. 3.- A) Aspecto de los marcadores de la deformación (nódulos cloríticos) sobre cada una de las secciones principales del elipsoide. B) Diagramas  $Rf/\theta$  obtenidos a partir de las muestras analizadas. Para cada sección principal el número de datos "n" representados corresponde al conjunto de las 6 estaciones consideradas.

Fig. 3.- A) Photographs showing the aspect of the strain markers at each one of the principal strain planes. B)  $Rf/\theta$  plots obtained from the analyzed samples. On each plot the whole data refer the six studied sites considered.

oide de deformación X, Y y Z y a la orientación media de los ejes de la susceptibilidad  $K_{max}$ ,  $K_{int}$  y  $K_{min}$  muestra un elevado grado de coaxialidad entre ambos elipsoides (Fig. 2). En todos los casos los ejes de susceptibilidad mínima tienden a agruparse en torno al eje Z del elipsoide de deformación y los ejes  $K_{max}$  y  $K_{int}$  definen la foliación magnética paralela a la esquistosidad media de cada estación. En aquellas estaciones con predominio de elipsoides magnéticos triaxiales (N3 y N5), con valores del parámetro T entre 0 y 0.5 (Fig. 4B), la orientación media de la lineación magnética coincide con el eje X del elipsoide de deformación (Fig. 2).

Por lo que respecta a la forma de los elipsoides, los gráficos de Flinn correspondientes a los datos de susceptibilidad ( $L=K_{max}/K_{int}$  y  $F=K_{int}/K_{min}$ ) y de deformación (X/Y y Y/Z) muestran una buena equivalencia para las diferentes estaciones (Fig. 4). Independientemente de las diferencias entre la excentricidad de los elipsoides magnéticos y de deformación, en ambos casos los elipsoides presentan formas achatadas correspondientes a un mecanismo de aplastamiento aparente.

De los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir que bajo condiciones litológicas y estructurales adecuadas (presencia de un material adecuado para el estudio de la ASM, desarrollo de esquistosidad y lineación mineral y presencia de marcadores convencionales de la deformación) la fábrica magnética refleja de un

modo preciso las características de la petrografía, incluso en condiciones de bajo grado de deformación. Esta correlación se comprueba no solo con las orientaciones de los elipsoides magnético y de deformación sino también con su forma.

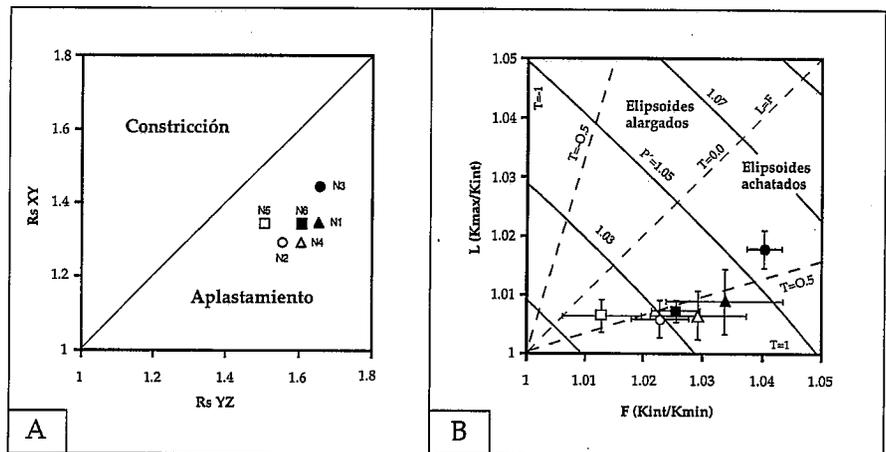


Fig. 4.- A) Diagrama de Flinn de deformación correspondiente a las estaciones analizadas. B) Representación gráfica de los valores medios (con su desviación estándar) de la lineación y foliación magnética (L y F) de cada estación. También se han representado las curvas correspondientes a los parámetros anisotrópicos P' (grado de anisotropía) y T (simetría de la forma). Los símbolos coinciden con los del diagrama de Flinn.

Fig. 4.- A) Flinn plot for the studied sites. B) Diagram showing the mean values (with standard deviations) of the magnetic lineation (L) and foliation (F) at each site. The curves corresponding to P' (degree of anisotropy) and T (symmetry of shape) are also reported. The symbols are the same as the Flinn diagram.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Dr. A. Pocoví la lectura crítica del trabajo así como sus valiosos comentarios. El trabajo se ha llevado a cabo gracias al disfrute de una beca predoctoral del C.O.N.A.I. (Diputación General de Aragón).

Referencias

Borradaile, G. y Tarling, H. (1981): *Tectonophysics* 77: 151-168.  
 Dunnet, D. (1969): *Tectonophysics* 7: 117-136.  
 Gil, A. y Pocoví, A. (1994): *Rev. Soc. Geol. España*, 7(1-2): 91-113.  
 Graham, J.W. (1954): *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 65: 1257-1258.  
 Hrouda, F. y Janak, F. (1976): *Tectonophysics* 34: 135-148.  
 Jelinek, V. (1981): *Tectonophysics* 79: 63-67.  
 Parés, J.M. y Dinarés, J. (1993): *J. Geomag. Geoelectr.*, 45: 193-205.  
 Ramsay, J.G. (1967): *Academic Press*. 307 pp. Londres.  
 Rathore, J.S. (1979): *Tectonophysics* 53: 83-97.  
 Tischer, G. (1966): *Beith. Geol. J.B.*, 44: 123-164.