

# Pliegues flexurales asociados al cabalgamiento de la Sierra de la Demanda en el Cerro Peñalba (La Rioja)

*Flexural folds linked to thrusting in the northern border of the Sierra de la Demanda (La Rioja)*

A. L. Cortés Gracia y A.M. Casas Sainz

Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

## ABSTRACT

*The Cerro Peñalba fold system is located at the northern border of the Sierra de la Demanda, within a thrust sheet, up to 500 m thick, formed by overturned marine Jurassic beds. This thrust sheet is located between paleozoic rocks to the south, and the tertiary molasse of the Ebro basin, to the north. This fold system is composed by at least three NW vergent asymmetric folds, with axes striking N050E and plunging 30°-50° to the SW. The geometry and orientation of these folds is interpreted in terms of simple shear associated to the NNW movement of the hanging wall of the Sierra de la Demanda thrust. Kinematic indicators near the thrust surface (slickenside striations and fracture cleavage), and the overall geometry of the main thrust, are consistent with this transport direction.*

**Key words:** *flexural fold, simple shear, transport direction, Sierra de la Demanda, Iberian Chain, Tertiary.*

*Geogaceta, 21 (1997), 85-88  
ISSN: 0213683X*

## Introducción

Las sierras de Cameros y Demanda constituyen la unidad más noroccidental de la Cordillera Ibérica. Su estructura y relieve actual es resultado fundamentalmente de la compresión oligo-miocena, definida por una tectónica de pliegues y cabalgamientos de dirección aproximada E-W. Sobre los materiales paleozoicos la compresión terciaria reactivó los pliegues hercínicos, de dirección E-W, y dio lugar al cabalgamiento basal de la Sierra de la Demanda, con buzamiento entre 10 y 15° (Guimerà y Alvaro, 1990, Casas Sainz, 1992). En la Sierra de Cameros esta compresión tuvo como consecuencia la inversión completa de la cuenca mesozoica de Cameros, mediante un cabalgamiento simple con un despegue importante en las facies yesíferas del Triásico superior, y enraizado hacia el Sur en el zócalo paleozoico (Casas Sainz, 1992, Mas *et al.*, 1994, Guimerà *et al.*, 1995).

La dirección de transporte de los cabalgamientos de Cameros y Demanda es objeto de discusión: para algunos autores (Mas *et al.*, 1994, Guimerà *et al.*, 1995), basándose fundamentalmente en la estructura regional de pliegues y cabalgamientos en la zona surpirenaica y el borde norte de la Cordillera Ibérica,

en la «regla del arco y la flecha» (Elliott, 1976) la dirección de transporte del bloque superior sería hacia el NNE. Otros autores (Casas y Simón, 1991, Casas Sainz, 1992) consideran, a partir básicamente de datos mesoestructurales (estrias y esquistosidad asociada a las superficies de cabalgamiento), que la dirección de transporte del bloque superior sería hacia el NNW.

Los pliegues de Cerro Peñalba se sitúan en el borde norte de la Sierra de la Demanda, próximos al contacto de esta con los materiales mesozoicos de la Sierra de Cameros. La espectacularidad de su afloramiento llevó a interpretaciones de la estructura como un conjunto de pliegues isoclinales de las calizas jurásicas, discordantes a su vez sobre el Triásico y el Paleozoico (Rambaud Pérez, 1960).

El objetivo de este estudio es presentar la geometría de los pliegues de Cerro Peñalba y las estructuras asociadas a los mismos, así como mostrar su relación con el cabalgamiento de Cameros-Demanda y con su dirección de transporte. La metodología utilizada para la realización del trabajo ha sido el análisis detallado de la fotografía aérea y la representación geométrica de los datos de estratificación y esquistosidad obtenidos a partir de los estudios de campo.

## Marco geológico

Los materiales que afloran en el borde norte de la Sierra de la Demanda son: 1) pizarras y cuarcitas cámbricas, que forman la mayor parte del macizo, 2) Triásico en facies germánica, que, sin incluir las facies Keuper, alcanza espesores de 200-300 m, 3) Jurásico marino, desde el Lías hasta el techo del Dogger, en el cual se encuentran representadas todas las formaciones típicas de la Cordillera Ibérica, y finalmente 4) materiales del Terciario continental, fundamentalmente Oligoceno superior y Mioceno inferior (Unidades tecto-sedimentarias A3, A4 y A5 de Muñoz, 1992).

El borde norte de la Sierra de la Demanda está formado por dos superficies de cabalgamiento (Fig. 1) de dirección general E-W, que en el sector oriental de la sierra pasa a ser prácticamente NW-SE. La superficie de cabalgamiento situada más al sur pone en contacto materiales del Paleozoico y Triásico con la cobertera mesozoica, en esta zona constituida casi exclusivamente por el Jurásico marino. En el bloque superior de este cabalgamiento tanto las facies Buntsandstein como el Cámbrico definen un pliegue vergente al Norte, ya que se sitúan en posición cercana a la vertical en la zona más

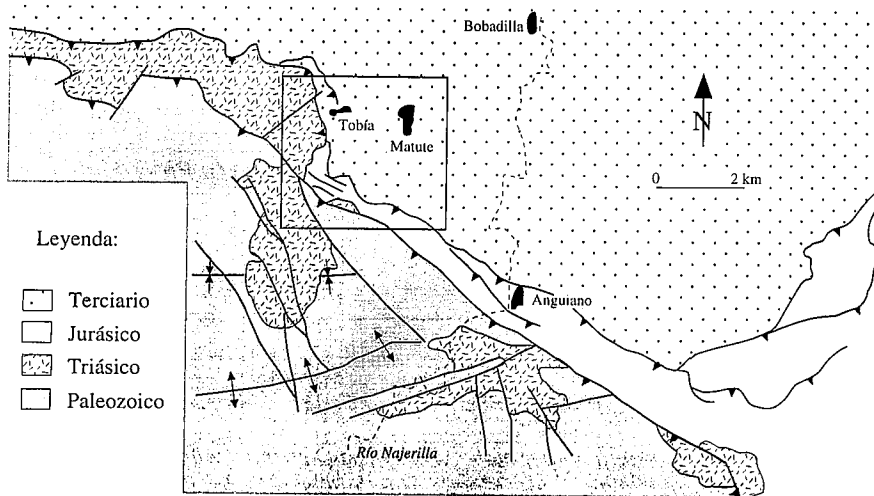


Fig. 1.- Esquema geológico del borde norte de la Sierra de la Demanda en su sector oriental.

Fig. 1.- Geological sketch of the northern border of the Sierra de la Demanda (eastern part).

cánicos y perfiles sísmicos) se ha interpretado que las dos superficies de cabalgamiento de la Sierra de la Demanda se unirían en profundidad (Guimerà y Alvaro, 1990, Casas Sainz, 1992), con la desaparición de la lámina formada por los materiales mesozoicos. De este modo se ha propuesto que el conjunto del macizo de la Demanda podría ser el resultado de un pliegue de propagación de todo el zócalo paleozoico con rotura del flanco frontal (Molinero Huguet *et al.*, 1996).

**Geometría de los pliegues de Cerro Peñalba**

El sistema de pliegues de Cerro Peñalba afecta únicamente a la lámina intermedia, formada por calizas del Jurásico. Las capas del Terciario continental del bloque inferior aparecen prácticamente subhorizontales o ligeramente afectadas por pliegues sinsedimentarios y cortadas en rampa por el cabalgamiento inferior. El Cámbrico y las facies Buntsandstein del bloque superior del cabalgamiento situado al Sur definen un pliegue cilíndrico de eje subhorizontal y dirección NW-SE.

El sistema de pliegues aparece limitado hacia el Sur por el cabalgamiento del zócalo (rampa de bloque superior, rellano de bloque inferior con las capas invertidas) sobre la lámina intermedia. Este cabalgamiento separa, en superficie, el afloramiento de la lámina invertida situada al SE, que muestra una geometría mucho más sencilla, con pliegues de pequeña longitud de onda, similares a los que aparecen en el Cerro Peñalba (Fig. 2). Hacia el NW el sistema de pliegues aparece limitado por un gran afloramiento de facies Keuper (entre los que se encuentran intercalados estratos de carnioles), que se extiende hacia el Oeste, y que a la altura de Tobía cabalga, en rellano de bloque superior, sobre los conglomerados terciarios.

Los pliegues de Cerro Peñalba presentan dos niveles de despegue, el principal a nivel del Triásico superior (facies Keuper), y un nivel secundario en el Lías superior (Fm. Margas y calizas de Turmiel). La longitud de onda media de los pliegues es de 500 m y su amplitud de 200-300 m. Los buzamientos de los flancos varían entre 20 y 80° (Fig. 3). En los núcleos anticlinales aparece la Fm. Carnioles de Cortes de Tajuña y las brechas de la base del Lías. Los núcleos sinclinales aparecen ocupados por las calizas oolíticas del Dogger.

Puesto que los pliegues afectan a una lámina en posición invertida, con dirección general NW-SE a E-W los sinformes y

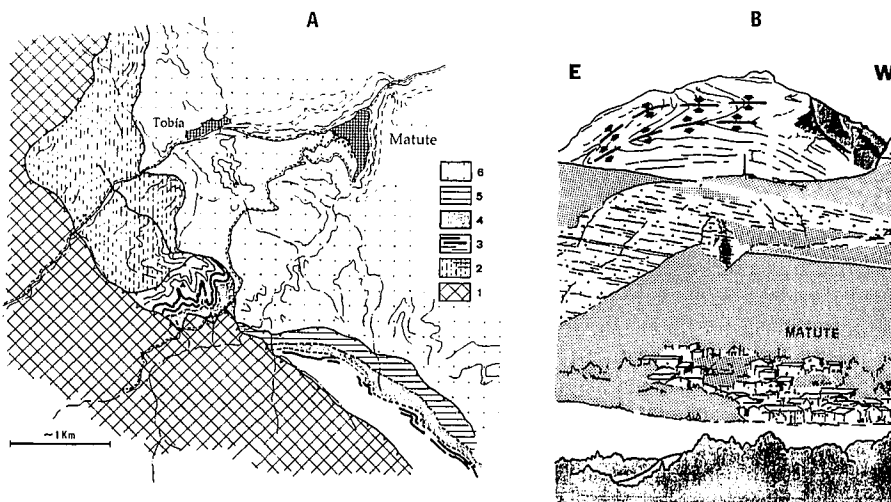


Fig. 2.- A. Esquema fotogeológico de los pliegues de Cerro Peñalba. 1: Paleozoico, facies Buntsandstein y Muschelkalk, 2: facies Keuper (con carnioles intercaladas), 3: brechas y carnioles de la base del Lías y Fm. Cuevas Labradas, 4: Fms. Cerro del Pez, Barahona y Turmiel (Lías), 5: Fm. Chelva (Dogger), 6: Terciario continental. B. Aspecto de campo de estos pliegues vistos desde el norte. Obsérvese que el antiforme y sinforme corresponden en realidad a un sinclinal y un anticlinal respectivamente.

Fig. 2.- A. Photogeological sketch of the Cerro Peñalba fold system. 1: Palaeozoic, Buntsandstein and Muschelkalk, 2: Keuper facies (with interbedded dolostones), 3: sedimentary breccia and dolostones (Lower Liassic) and Cuevas Labradas Fm., 4: Cerro del Pez, Barahona and Turmiel Fms (Liassic), 5: Chelva Fm. (Dogger), 6: continental Tertiary. B. Field view (from the North) of this fold system. Note that the antiformal and synform correspond to a syncline and an anticline, respectively.

próxima al cabalgamiento, para pasar hacia el Sur a una geometría subhorizontal. La superficie de cabalgamiento situada más al Norte superpone la cobertera mesozoica sobre la molasa terciaria de la cuenca del Ebro. Esta última está formada por conglomerados con estratificación

prácticamente horizontal. La lámina de materiales mesozoicos situada entre los dos cabalgamientos se encuentra en posición invertida (polaridad Norte), con buzamientos en torno a los 60°S.

De acuerdo con los datos de geología de profundidad existentes (sondeos me-

antiformes observables en fotografía aérea y en el campo (Fig. 2) corresponden en realidad a anticlinales y sinclinales respectivamente.

Las calizas del Dogger (Fm. Carbonatada de Chelva) del núcleo del sinclinal de Cerro Peñalba aparecen en contacto cabalgante sobre los conglomerados terciarios oligocenos (U.T.S. A3 de Muñoz, 1992). En las calizas situadas sobre este plano de cabalgamiento aparecen estrías de dirección N165E. Asimismo, en los niveles de conglomerados situados sobre el bloque inferior aparece una banda de cizalla de varios metros de espesor con planos de deslizamiento paralelos a la superficie del cabalgamiento principal entre los cuales aparece esquistosidad de fractura y disolución afectando a los cantos de los conglomerados. Estos planos presentan dirección aproximada E-W lo que indicaría una traslación del bloque superior en dirección Norte.

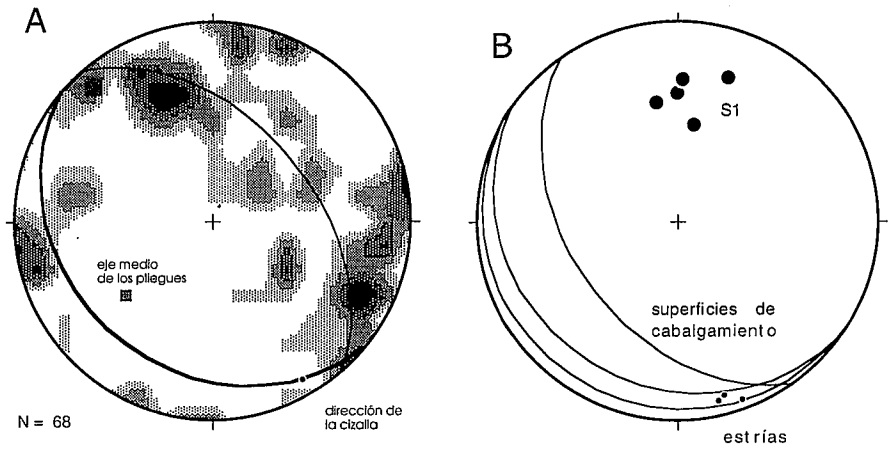


Fig. 3.- A. Estereograma de densidad de 68 polos de estratificación medidos en las calizas jurásicas de Cerro Peñalba. B. Representación estereográfica de los principales indicadores cinemáticos encontrados en la superficie de cabalgamiento que separa la lámina de calizas jurásicas de los materiales terciarios. Las estrías han sido medidas en las calizas jurásicas situadas sobre el plano de cabalgamiento y los planos de esquistosidad de fractura se sitúan en un nivel de varios metros de espesor dentro de los conglomerados terciarios.

Fig. 3.- A. Density stereonet of 68 bed attitude of Jurassic limestones in Cerro Peñalba. B. Stereonet showing the orientation kinematic indicators near the thrust surface between the Jurassic limestones and the Tertiary molasse. Slickenside striations have been measured on the thrust surface. Cleavage planes are located in a shear band several meters thick within the Tertiary conglomerates.

**Interpretación y discusión. La dirección de transporte del cabalgamiento de Cameros-Demanda**

El sistema de pliegues de Cerro Peñalba puede interpretarse, de acuerdo con su geometría y su posición en relación al cabalgamiento de la Sierra de la Demanda como resultado de la cizalla simple sobre la lámina invertida de materiales jurásicos entre los dos planos de cabalgamiento (Fig. 4). La dirección de la cizalla (150, 10 E) vendría indicada por una línea perpendicular a los ejes de los pliegues y paralela a los planos de cabalgamiento, y su sentido por la asimetría de los mismos (flancos largos SE y flancos cortos NW en los antiformes). De este modo, los pliegues que aparecen en Cerro Peñalba corresponderían a un afloramiento relativamente pequeño del conjunto de pliegues que afectan a la lámina invertida.

La dirección de transporte que se obtiene para el bloque superior del cabalgamiento de Demanda a partir de esta dirección de cizalla sería NW-NNW, lo cual implica que el segmento de este cabalgamiento habría funcionado como una rampa oblicua del cabalgamiento principal, cuya geometría estuvo posiblemente condicionada por una mayor pendiente del cabalgamiento de la Sierra de la Demanda en este sector frente a las zonas situadas más al oeste (comparar, por ejemplo, los cortes presentados por Guimerà y Alvaro, 1990 y Casas Sainz, 1992). El segmento situado al oeste de Tobía, con dirección E-W correspondería entonces a la rampa frontal del cabalgamiento de la Sierra de la Demanda.

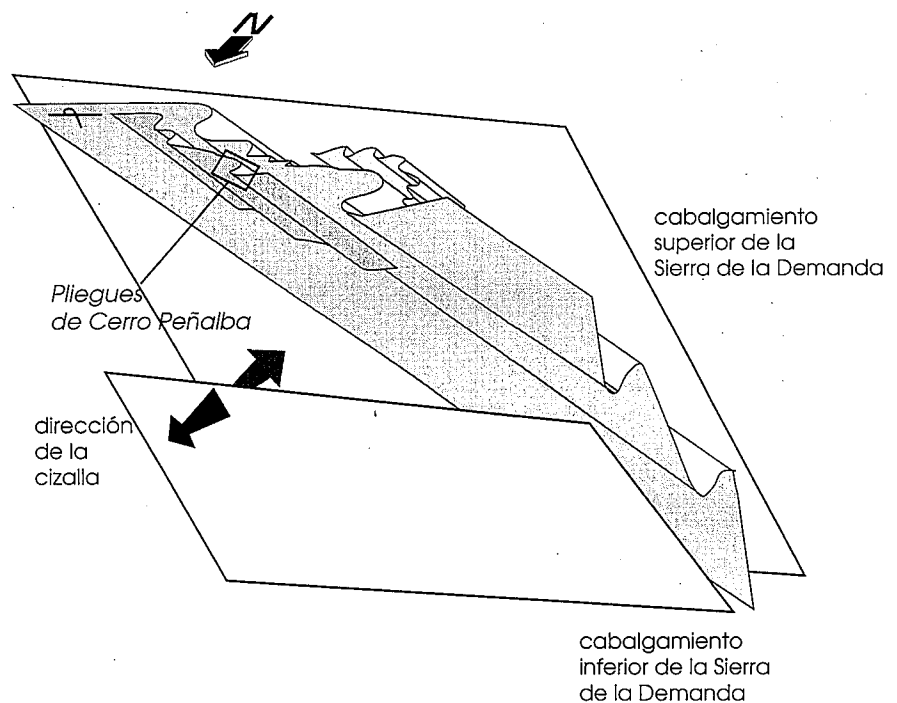


Fig. 4.- Interpretación de los pliegues de Cerro Peñalba de acuerdo con una deformación por cizalla simple asociada al movimiento inverso-diestro sobre las superficies de cabalgamiento de dirección NW-SE.

Fig. 4.- Interpretation of the Cerro Peñalba fold system according to a simple shear model, linked to dextral-reverse movement of the Sierra de la Demanda thrusts, striking NW-SE.

La dirección de transporte deducida del sistema de pliegues es ligeramente oblicua a la obtenida de los marcadores cinemáticos en el plano de cabalgamiento. Esto podría explicarse por la existencia de ligeras variaciones temporales en la citada dirección de transporte, que también podrían aplicarse, a escala regional, al conjunto del cabalgamiento de Cameros-Demanda.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen a A. Pocoví su colaboración y discusión para la realiza-

ción de este estudio. El presente trabajo ha sido financiado por el proyecto PB93-1218 de la D.G.I.C.Y.T.

#### Referencias

- Casas Sainz, A.M. (1992): *Zubía*, monográfico nº 4: 1-220  
Casas Sainz, A.M. y Simón Gómez, J.L. (1991): *J. of Struct. Geol.*, 14 (5): 521-530.  
Elliott, D. (1976): *Proc. of the Royal Society, London*, A283: 289-312.  
Guimerà, J. y Alvaro, M. (1990): *Bull. Soc. géol. France*, 8 (VI): 339-348  
Guimerà, J., Alonso, A. y Mas, J.R. (1995): In: Buchanan, J.G. y

Buchanan, P.G. (eds.), *Basin Inversion*, Geol. Soc. Spec. Pub., 88: 433-453.

- Mas, J.R., Alonso, A. y Guimerà, J. (1994): *Rev. Soc. Geol. Esp.*, 6 (3-4): 129-144.  
Moliner Huguet, J., Colombo Piñol, F. y Hardy, S. (1996): *Geogaceta*, 20(4): 792-795.  
Muñoz Jiménez, A. (1992): *Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja)*. Instituto de Estudios Riojanos, Logroño. 347 pp.  
Muñoz Jiménez, A. y Casas Sainz, A.M. (1996): *Basin Research*, 8 (en prensa)  
Rambaud Pérez, A. (1960): *Bol. Soc. Esp. Hist. Nat., Secc. Geol.*: 283-289.