

# Determinación de valores absolutos de paleoesfuerzos, basados en el maclado de la calcita, en el frente norte de la Sierra de Cameros (Cordillera Ibérica)

J.M. González-Casado<sup>1</sup>, C. García-Cuevas<sup>1</sup>, P. Gumiel<sup>2</sup>, J. Giner-Robles<sup>3</sup> y A. Moreno<sup>1</sup>

1 Dpto. de Q.A., Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid. g.casado@uam.es

2 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid.

3 Dpto. de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid.

## ABSTRACT

*Calcite e-twin density (twins/mm) and percentage of calcite grains with one and two twin sets from sparry grains that fill microveins were used to precise the differential stress related with the inversion of the Cameros Basin, a Mesozoic sedimentary basin located in the northwestern part of Iberian Chain (Spain).*

*The results obtained using techniques based on the percentage of twined grains yield better results than those techniques based on twin density. The deduced stress magnitudes fit well with the differential stress interval proposed for fold-thrust belt domains. Combination of twin data with rock mechanics data provides adequate estimations of differential stresses.*

**Key words:** paleostress, calcite, twins, differential stress, Iberian Chain.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han desarrollado varios métodos que permiten determinar la magnitud absoluta del esfuerzo diferencial ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) a partir del análisis del maclado mecánico de la calcita (e.g. Jamison y Spang, 1976; Rowe y Rutter, 1990). Los métodos utilizados en este trabajo (métodos de Jamison y Spang, 1976 y de Rowe y Rutter, 1990) se basan en la determinación de la proporción de cristales de calcita contiguos con 0, 1, 2 ó 3 sistemas de maclas, medidos en una pequeña superficie de una lamina delgada, y en la determinación del número maclas por milímetro (índice de maclado) en estos mismo granos. Sin embargo, los resultados obtenidos con ambos métodos difieren casi siempre en un orden de magnitud. Los trabajos recientes (e.g. Ferrill, 1998; Lacombe, 2001) sugieren que el método de Jamison y Spang (1976) da mejores aproximaciones a los valores reales del esfuerzo diferencial ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ). Los valores obtenidos no se ajustan exactamente a los valores reales debido a que este método se basa en que el valor del esfuerzo de cizalla resuelto en el plano de macla ( $\tau_c$ ), necesario para que se produzca ésta, es de 10 MPa, valor que no es del todo correcto, ya que varía, por ejemplo, en función de la temperatura, grado de deformación, etc. (e.g. Lacombe, 2001).

El objetivo de este trabajo es establecer cuál de los dos métodos citados es más preciso, comparando los valores del esfuerzo diferencial ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) deducidos del análisis del maclado con otras determinaciones independientes de  $\sigma_1 - \sigma_3$ . Para ello se ha elegido el cabalgamiento del frente norte

de la Sierra de Cameros, un cabalgamiento de geometría relativamente simple que superpone los materiales mesozoicos de la Cordillera Ibérica sobre los depósitos cenozoicos de la Cuenca del Ebro. Finalmente, se comparan los resultados obtenidos con los publicados para otras regiones con entornos geotectónicos parecidos.

Por consiguiente, con este trabajo pretendemos contribuir a mejorar la calibración de los paleopiezómetros basados en el maclado mecánico de la calcita.

## RESULTADOS

Para establecer los valores del esfuerzo diferencial utilizando los métodos de Jamison y Spang y Rowe y Rutter, se han analizado más de 90 muestras procedentes del frente norte del cabalgamiento de la Sierra de Cameros (Fig. 1). De entre estas muestras sólo se han considerado para el análisis aquellas procedentes de las venas de carbonatos que cortan los materiales del Jurásico Superior - Cretácico Inferior (Secuencia *Sin-rift*), ya que como ha sido demostrado por González-Casado y García-Cuevas (2002) las maclas de estas venas registran la historia de deformación asociada con la inversión de la cuenca cretácica de Cameros durante el Terciario. En la actualidad la Cuenca de Cameros tiene una estructura en *pop-up* y los sedimentos mesozoicos se superponen, mediante un cabalgamiento vergente al norte, más de 30 kilómetros sobre los materiales de la Cuenca del Ebro (p.ej., Casas-Sainz, 1990). La inversión de la Cuenca de Cameros fue probablemente facilitada por la presencia



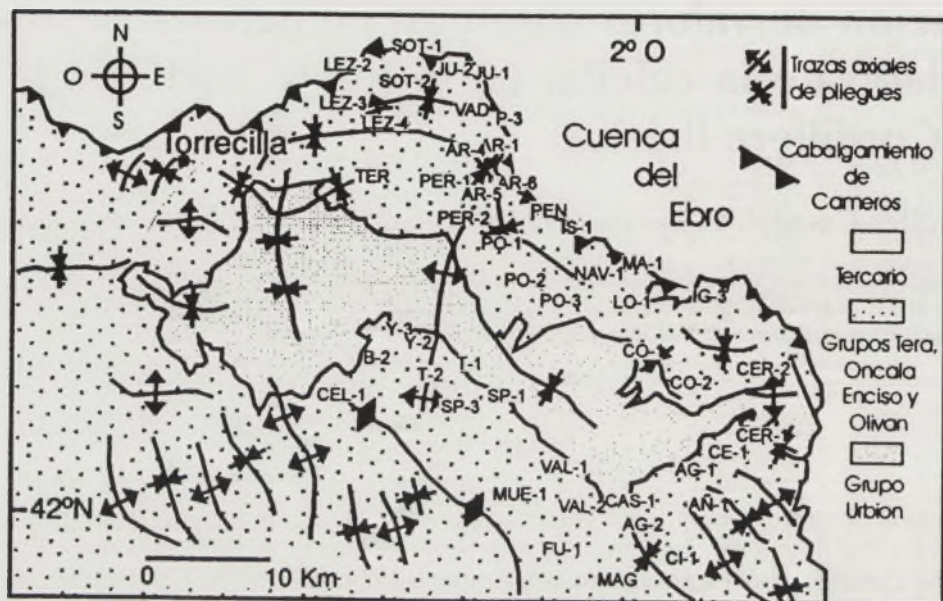


FIGURA 1. Mapa de situación de las muestras estudiadas en el sector norte de la Sierra de Cameros (esquema geológico modificado de Gil-Imaz, 1999).

de un nivel de despegue en los niveles evaporíticos de Triásico Superior.

En cada muestra se ha determinado para cada cristal esparítico, su superficie ( $\text{mm}^2$ ), el número de maclas (maclas/ $\text{mm}^2$  y maclas/mm), el número de sistemas de maclas y su tipo (Burkhard, 1993), midiéndose aproximadamente 50 granos por muestra. Los resultados indican que el índice de maclado medio es de 23,37 maclas/mm (Fig. 2). En las muestras consideradas la proporción de granos con un sistema de maclas es del 49,8%, con dos conjuntos de maclas hay un 13,3% y, prácticamente, no hay casi cristales con los tres sistemas de maclas posibles. Todas las maclas observadas son de baja temperatura ( $< 200^\circ\text{C}$ , Tipo I, Burkhard, 1993).

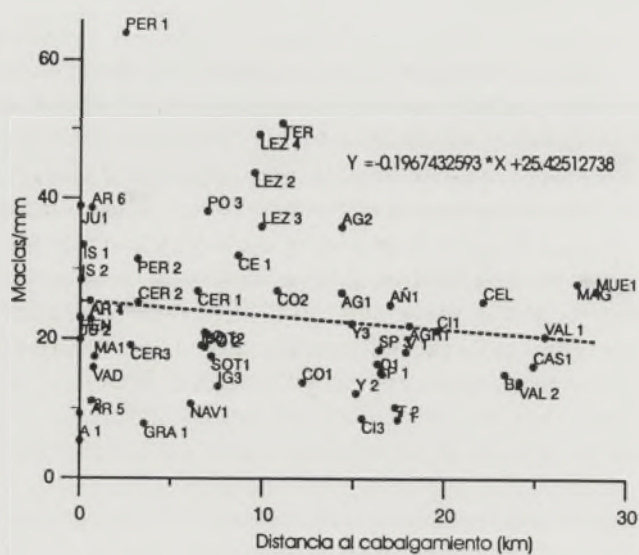


FIGURA 2. Valores de índice de maclado en función de la distancia al frente del cabalgamiento.

La aplicación del método de Jamison y Spang, utilizando el porcentaje de granos con un sistema de maclas, proporciona un valor de esfuerzo diferencial de aproximadamente 35 MPa, si se considera el porcentaje de granos con dos sistemas de maclas el valor del esfuerzo diferencial ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) es aproximadamente 57 MPa. El método de Rowe y Rutter sugiere un valor para el esfuerzo diferencial ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) de 188 MPa.

Asumiendo que la mayoría de las maclas se han formado durante la inversión de la Cuenca y para evaluar cuál de estos dos resultados se aproxima más a los valores reales del esfuerzo diferencial ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ), se ha considerado en un diagrama de Mohr (Fig. 3) la ley de fricción (inicial y máxima, adaptadas de Byerlee, 1978) que probablemente prevaleció durante la inversión de la Cuenca. En este caso el valor del esfuerzo mínimo ( $\sigma_3$ ) se puede estimar considerando un

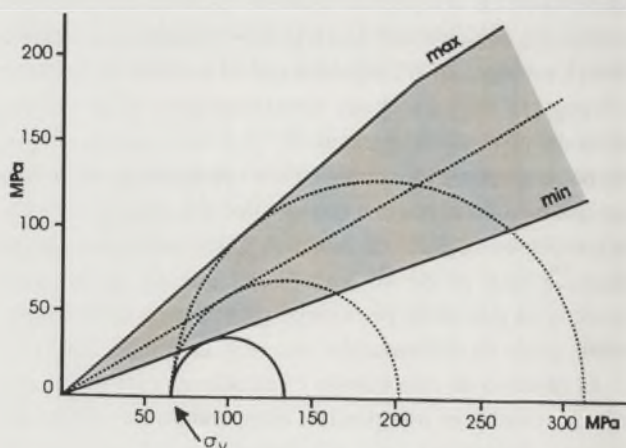


FIGURA 3. Diagrama de Mohr, con las leyes de fricción (inicial y máxima, basado en Byerlee, 1978).



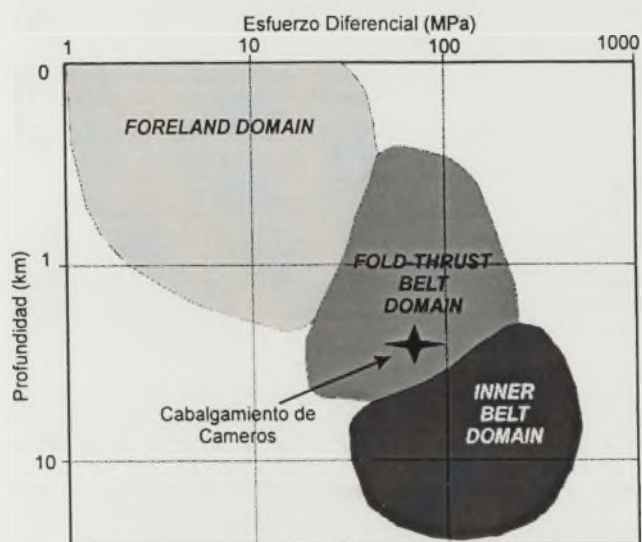


FIGURA 4. Diagrama logarítmico, donde están representadas los valores del esfuerzo diferencial propuesto en este trabajo frente a los de otros autores (modificado de Lacombe, 2001).

espesor medio de 2.500 m para la lámina cabalgante y un gradiente litostático de 2,65 MPa/km, de forma que la presión litostática en la base del cabalgamiento y, por tanto, de  $\sigma_3$  sería de 66,25 MPa. Un proceso de tanteo permite determinar que para que se produzca el deslizamiento en condiciones de fricción mínima el valor del esfuerzo diferencial debe estar en torno a los 68 MPa.

## DISCUSIÓN

El valor de 68 MPa se encuentra dentro del rango de valores del esfuerzo diferencial ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) para dominios de pliegues y cabalgamientos (Fig. 4) propuesto para varias regiones (p.ej. Lacombe, 2001) por lo que podemos considerarlo válido. En este caso, de las tres estimaciones utilizadas, la que da resultados más ajustados es el paleopiezómetro de Jamison y Spang, utilizando los granos con dos sistemas de maclas. Confirmándose, una vez más, que el uso del paleopiezómetro de Rowe y Rutter proporciona importantes sobreestimaciones del esfuerzo diferencial (p.ej. Ferrill, 1998), en este caso de 120 MPa.

Como el tamaño de grano es uno de los factores que puede condicionar los resultados (p.ej. Newman, 1994). Se han repetido estas determinaciones (medida de la proporción de granos con 0, 1 ó 2 conjuntos de maclas) para un mismo intervalo de tamaños de grano para todas las muestras, en concreto, se han elegido cristales con tamaños com-

prendidos entre 0,02 y 0,03 mm<sup>2</sup> (tamaño de grano más frecuente). Los resultados son de un esfuerzo diferencial de aprox. 45 MPa (un sistema de maclas) y de 80 MPa (dos sistemas de maclas). En este caso los dos valores obtenidos se aproximan más al probable valor real del esfuerzo diferencial. Aunque otra vez es más preciso el resultado basado en el análisis de granos con dos sistemas de maclas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto MCyT - BTE2002-01742.

## REFERENCIAS

- Burkhard, M. (1993): Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review. *Journal Structural Geology*, 15: 351-368.
- Byerlee, J. (1978): Friction of rocks. *Pure and Applied Geophysics*, 116: 615-626.
- Casas-Saínz, A. (1990): *El frente norte de las Sierras de Cameros. Estructuras cabalgantes y campo de esfuerzos*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 382 p.
- Ferrill, D.A. (1998): Critical re-evaluation of differential stress estimates from calcite twins in coarse-grained limestones. *Tectonophysics*, 285: 77-86.
- Gil-Imaz, A. (1999): *La estructura de la Sierra de Cameros: Deformación dúctil y su significado a escala cortical*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 317 p.
- González Casado, J.M. y García-Cuevas, C. (2002): Strain analysis from calcite e-twins in the Cameros basin, NW Iberian Chain, Spain. *Journal of Structural Geology*, 24: 1777-1788.
- Jamison, W.R. y Spang, J.H. (1976): Use of calcite twin lamellae to infer differential stress. *Geological Society of America Bulletin*, 87: 868-872.
- Lacombe, O. (2001): Palaeostress magnitudes associated with development of mountain belts: Insights from tectonic analyses of calcite twins in the Taiwan Foothills. *Tectonics*, 20 (6): 834-849.
- Newman, J. (1994): The influence of grain size and grain size distribution on methods for estimating paleostresses from twinning in carbonates. *Journal of Structural Geology*, 16: 1589-1601.
- Rowe, K.J. y Rutter, E.H. (1990): Paleostress estimation using calcite twinning: experimental calibration and application to nature. *Journal of Structural Geology*, 12: 1-17.