

Cinemática y paleoesfuerzos en la zona de falla transcurrente de Jebha-Chrafate (Rif septentrional, Marruecos)

Kinematics and paleostresses in the Jebha-Chrafate transcurrent fault (northern Rif, Morocco)

M. Benmakhlouf ^(1,2), J. Galindo-Zaldívar ⁽²⁾, A. Chalouan ⁽³⁾, C. Sanz de Galdeano ⁽⁴⁾, M. Ahmamou ⁽³⁾ y A.C. López-Garrido ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. 18071 Granada. benmakhlouf@yahoo.fr, jgalindo@ugr.es

⁽²⁾ Faculté des Sciences. Université Abdelmalek Essaadi. Tetuán. Marruecos.

⁽³⁾ Faculté des Sciences. Université Mohammed V-Agdal. Rabat. Marruecos. chalouan@fsr.ac.ma, ahmamou@fsr.ac.ma

⁽⁴⁾ Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. CSIC-Universidad de Granada. 18071-Granada. csanz@ugr.es, aclopez@ugr.es

ABSTRACT

The Jebha-Chrafate is an ENE-WSW sinistral major transcurrent fault of the Rif Cordillera, formed during the southwestwards emplacement of the Internal Zones on the Flysch units and the External Zones. The analysis of minor structures along the Jebha area indicates the activity of top to the SW low and high angle normal faults during the tectonic wedge emplacement. In addition, most of the kinematic indicators along the transcurrent fault zone point to a reactivation as dextral fault during the recent NW-SE Eurasia-Africa convergence and a final overprinting of normal faults during the late stages of relief uplift.

Key words: Internal Rif, transfer fault, reactivation, low angle normal faults, paleostress evolution.

Geogaceta, 38 (2005), 71-74
ISSN: 0213683X

Introducción

La evolución del Rif y la Cordillera Bética durante el Cenozoico es consecuencia de la interacción entre el desplazamiento relativo hacia el oeste del Dominio de Alborán y el movimiento convergente dextro de las placas Euroasiática y Africana, actualmente de aproximación NO-SE (de Mets *et al.*, 1990). Durante el Mioceno inferior, la antigua corteza engrosada fue sometida a procesos de adelgazamiento cortical que afectaron principalmente a sus Zonas Internas y determinaron el desarrollo del Mar de Alborán. La elevación de los principales relieves montañosos se ha producido desde el Mioceno superior a la actualidad.

El Rif (Fig. 1) está formado por las Zonas Internas, compuestas por los complejos Sebtime, Gomáride, de la Dorsal y Predorsal, separadas por las unidades de los Flysch de las Zonas Externas, entre las que se incluye el Intrarif. El emplazamiento tectónico hacia el SO está asociado a la actividad de fallas transcurrentes de dirección NE-SO a E-O (Andrieux, 1971; Olivier, 1978, 1984; Chalouan y Michard 1989; Benmakhlouf, 1990), entre las que destacan la falla de Fahies y la de Jebha-Chrafate que limitan las Zonas Internas (Fig. 1). Andrieux (1971) y Olivier (1978, 1982) consideran que esta falla es un gran desgarre sinistro con un salto mínimo de 50 km. Los datos

gravimétricos (Van Den Bosch, 1974) y magnéticos (Demnati, 1972), las imágenes de satélite Landsat (Biju-Duval *et al.*, 1976) y los estudios geológicos (Morley, 1987; Tejera de León, 1997) sugieren la prolongación de esta falla hacia el oeste, dentro de las Zonas Externas. La falla de Jebha-Chrafate ha tenido gran importancia en los modelos geodinámicos de reconstrucción del Mediterráneo occidental ya que ha facilitado el movimiento de los bloques corticales de las Zonas Internas hacia el oeste (Tapponier, 1977; Bourgois, 1978; Chalouan y Michard, 1989; Sanz de Galdeano, 1990) y ha modificado las direcciones estructurales en las Zonas Internas del Rif (Kornprobst, 1971).

El objetivo de este trabajo es el análisis microtectónico de las estructuras asociadas a la zona de falla de Jebha-Chrafate con el fin de determinar su cinemática y los paleoesfuerzos durante su funcionamiento. Para ello se han analizado los datos de nueve estaciones localizadas a lo largo de la zona de falla y su entorno en materiales gomárides, de la Dorsal, la Predorsal y el Flysch (Fig. 2).

La falla de Jebha-Chrafate

En la parte septentrional del Rif, el contacto entre Zonas Internas y Zonas Externas es generalmente un cabalgamiento hacia el OSO con una forma ar-

queada que varía entre N150°E y N180°E. Entre Jebha y Chrafate el contacto adquiere una dirección casi perpendicular comprendida entre N60°E y N80°E (Figs. 1 y 2). Esta geometría sugiere que la zona de falla entre Jebha y Chrafate constituye una falla de transferencia sinistral dentro del sistema de cabalgamientos asociados al emplazamiento hacia el OSO del Rif Interno (Andrieux, 1971; Olivier, 1984, entre otros).

En la región de Jebha, las unidades de las Zonas Internas se encuentran deformadas por la zona de falla que las separa de las unidades de Flysch (Suter, 1980) (Figs. 1 y 2). La zona de falla estudiada muestra una intensa deformación cataclástica y una neta superposición de superficies de fallas de bajo y de elevado buzamiento (Figs. 2 y 3). Dentro de las unidades de las Zonas Internas, en la Dorsal, las superficies de falla de bajo buzamiento mejor desarrolladas separan a techo los materiales aquitanienses (Zahgloul *et al.*, en prensa) y las calizas del Lías, situadas en el bloque de muro. Estas fallas tienen buzamientos suaves de componente sur y un desarrollo muy marcado de estrías de dirección N70°E. Los criterios cinemáticos tales como cizallas Riedel, estructuras SC, colas de trituración, escalones asimétricos y orientación de las fracturas de tensión, indican un desplazamiento del bloque de techo muy marcado hacia el oeste, típicos de

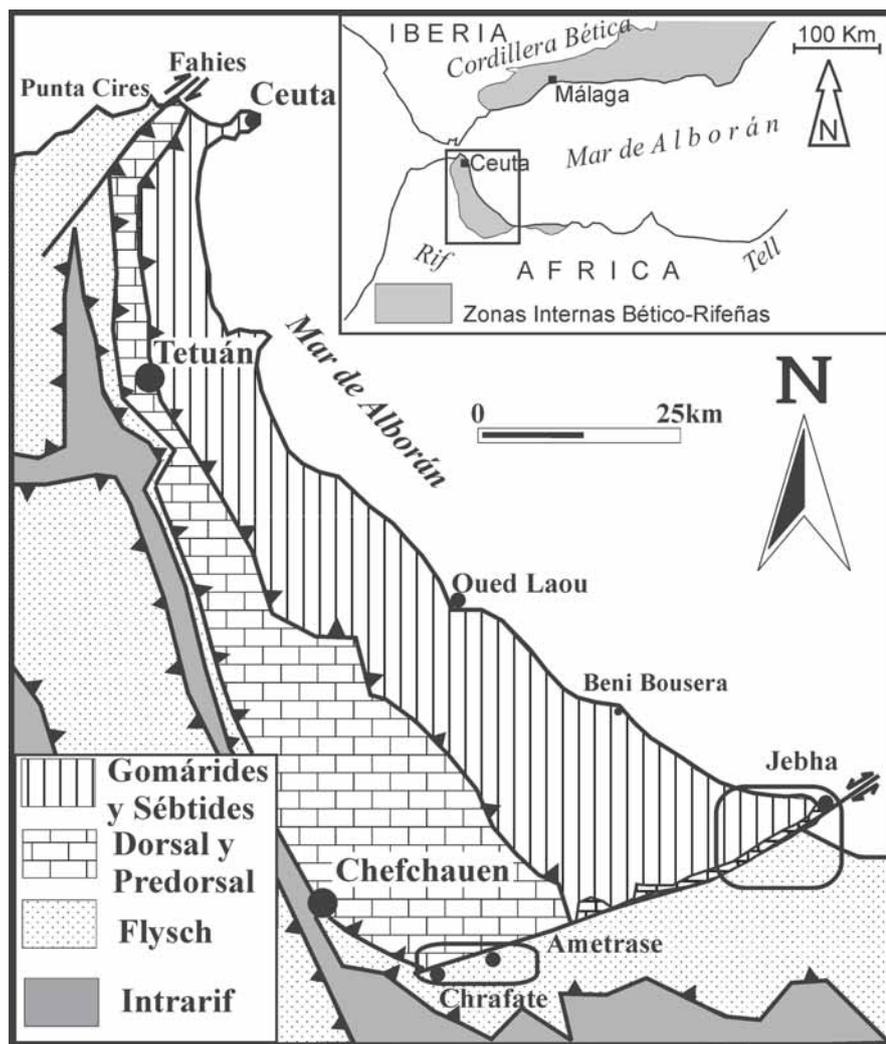


Fig. 1. - Mapa tectónico simplificado del sector entre Ceuta y Jebha en el Rif septentrional.

Fig. 1.- Simplified tectonic map of the sector between Ceuta and Jebha in the northern Rif.

una falla dextra. Las fallas de bajo buzamiento están cortadas por fallas normales de elevado buzamiento de dirección N-S a NNO-SSE (Figs. 2 y 3) que muestran una extensión muy marcada de dirección ENE-OSO. Además se han observado fallas subverticales de orientación ENE-OSO tanto con criterios que netamente sugieren un movimiento de tipo sinistro (Fig. 3A), como otros mayoritarios que indican un régimen dextro (Fig. 3B). Existen por lo tanto criterios que indican que esta zona de falla ha sido activa en dos regímenes diferentes. Ninguna de las fallas llega a afectar a los materiales cuaternarios de los cauces fluviales.

En la región de Chrafate, situada en la terminación cartográfica occidental de la falla de Jebha (Fig. 1), se observan fallas con régimen transpresivo asociadas al cabalgamiento de las calizas liásicas de la Dorsal (El Kadiri, 1985) sobre materiales del Flysch. No obstante, sobre ellas se superponen fallas normales, principalmente en la zona de Ametrase. En el fren-

te occidental de cabalgamiento se desarrollan abanicos aluviales que impiden reconocer la cinemática de este contacto en la mayor parte de los sectores.

Paleoesfuerzos en la región Jebha-Chrafate

La determinación de paleoesfuerzos se ha realizado a partir de datos de orientación de microfallas mediante el método de búsqueda (Galindo-Zaldívar y González-Lodeiro, 1988) y observaciones complementarias de juegos de diaclasas. El régimen de las microfallas se ha determinado principalmente mediante cizallas Riedel, asimetría de escalones, asociados a veces con crecimiento de calcita, y orientación en las fracturas de tensión. Se realizaron 347 medidas agrupadas en 9 estaciones (Fig. 2). Los paleoesfuerzos determinados indican que la deformación es polifásica y está representada por dos o tres elipsoides en cada estación.

En las estaciones situadas al NE del área de estudio, cerca del mar de Alborán (estaciones 1, 2 y 3, Fig. 2A) predominan los paleoesfuerzos extensivos con dos fases diferenciadas, una con elipsoides oblatos de extensión ENE-OSO y otra con una extensión de carácter pluridireccional y tendencia local de predominio de las direcciones N-S. El único elipsoide compresivo determinado en este sector (2b, Fig. 2A) indica una dirección del eje de compresión NO-SE. Al sureste de Jebha, cerca de la localidad de El Kouat (estación 7, Fig. 2A), los paleoesfuerzos muestran tanto una extensión en dirección NNO-SSE como una compresión en la misma dirección.

En el sector medio de la zona de falla (estaciones 4, 5 y 6, Fig. 2A), los elipsoides predominantes indican una dirección de compresión NO-SE y extensión perpendicular NE-SO. Además se han determinado direcciones de extensión ONO-ESE con elipsoides de forma oblata y prolata. El elipsoide 6a (Fig. 2A) constituye el único testimonio en esta región de una compresión NE-SO. Las estaciones 8 y 9 (Fig. 2B) situadas en el sector más occidental de la falla Jebha-Chrafate, muestran en ambos casos una compresión NNO-SSE, y una extensión pluridireccional.

Discusión y conclusiones

Las observaciones cartográficas indican que la falla de Jebha-Chrafate es una falla de transferencia sinistral dentro del sistema de cabalgamientos que emplaza las unidades internas del Rif hacia el OSO. Sin embargo, los criterios cinemáticos observados en el campo y los resultados de la determinación de los paleoesfuerzos a lo largo de esta falla muestran una gran variabilidad tanto en la orientación como en la cinemática de las estructuras menores asociadas. Las fallas de bajo buzamiento con desplazamiento de los bloques de techo hacia el OSO (Fig. 3C) constituirían un sistema de fallas antiguo. La omisión de materiales entre el Lías y el Oligoceno superior asociada a estas fallas y la presencia de elipsoides de esfuerzos oblatos, de extensión, en la zona de Jebha sugieren que son fallas normales de bajo buzamiento formadas durante el emplazamiento al OSO de las unidades de las Zonas Internas. Fallas similares han sido descritas más hacia el NO entre Beni Bousera y Oued Laou (Chalouan *et al.* 1995). Estas fallas están cortadas por fallas normales de elevado buzamiento que indican la misma dirección de extensión (Figs. 2A y 3D) y

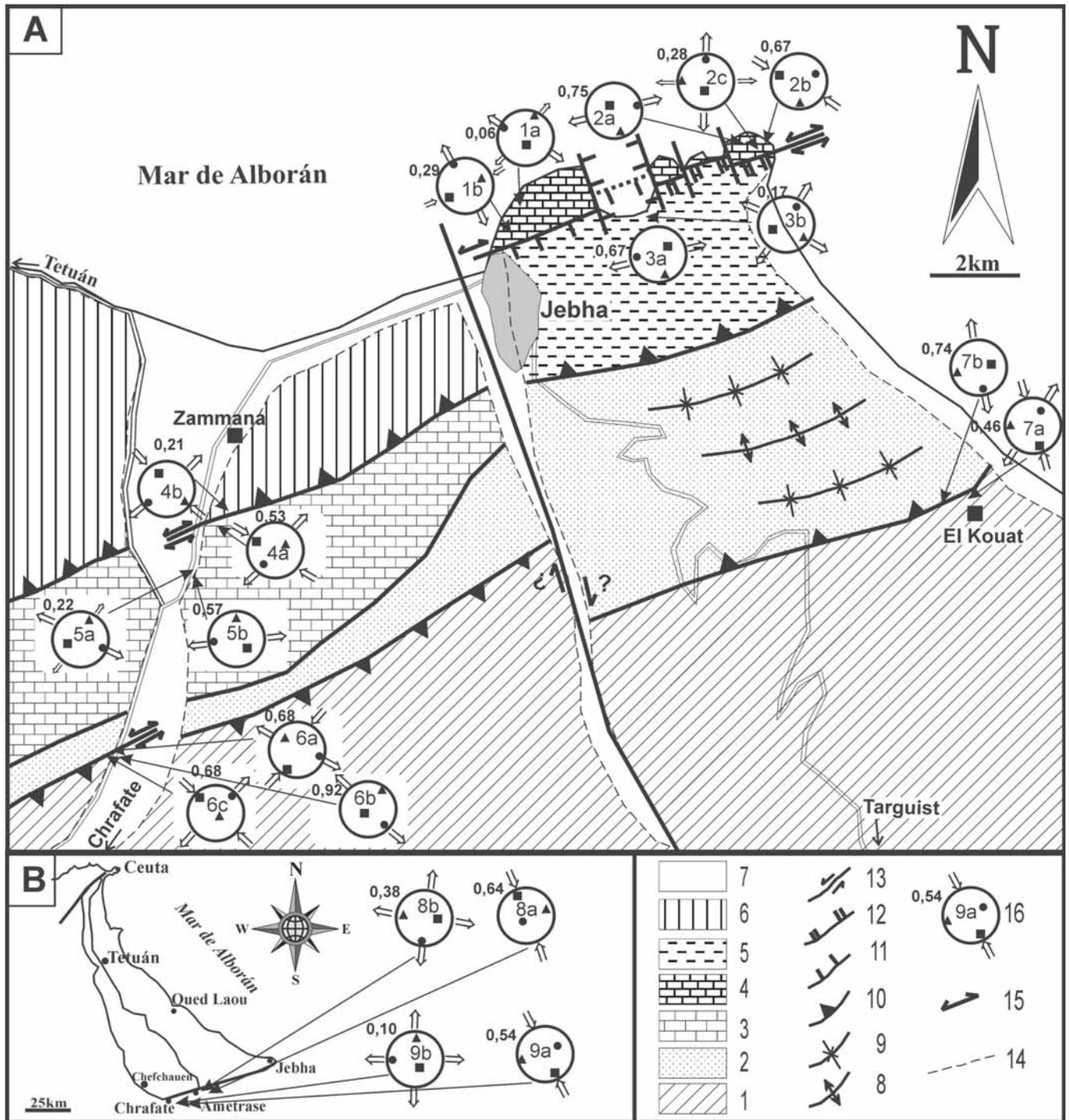


Fig. 2. - Esquema tectónico y paleoesfuerzos determinados a partir de microfallas del sector de Jebha (A) y en la región Chrafate - Ametrase (B). 1, Flysch. 2, Predorsal. 3, Dorsal Externa. 4, Dorsal Interna (Mesozoico). 5, Dorsal Interna (Terciario). 6, Gomárides. 7, sedimentos cuaternarios. 8, anti-forme. 9, sinforme. 10, cabalgamiento. 11, falla normal de elevado buzamiento. 12, falla normal de bajo buzamiento. 13, falla de desgarre. 14, discordancia. 15, indicadores cinemáticos con sentidos de movimiento opuestos. 16, paleoesfuerzo determinado a partir de microfallas ($F_1 > F_2 > F_3$); F_1 , cuadrado; F_2 , triángulo; F_3 , círculo; flechas, dirección de compresión o extensión horizontal. Razón axial del elipsoide de esfuerzos, $(F_2 - F_3) / (F_1 - F_3)$.

Fig. 2.- Tectonic sketch and paleostresses from microfaults in the sector of Jebha (A) and the Chrafate - Ametrase region (B). 1, Flysch. 2, Predorsal. 3, External Dorsal. 4, Internal Dorsal (Mesozoic). 5, Internal Dorsal (Tertiary). 6, Ghomarides. 7, Quaternary sediments. 8, antiform. 9, synform. 10, thrust. 11, high angle normal fault. 12, low angle normal fault. 13, wrench fault. 14, unconformity. 15, opposed kinematic indicators. 16, paleostresses from microfaults ($F_1 > F_2 > F_3$); F_1 , square; F_2 , triangle; F_3 , circle; arrows, horizontal compression or extension. Axial ratio of stress ellipsoid, $(F_2 - F_3) / (F_1 - F_3)$.

que se desarrollarían en las Zonas Internas durante los estadios más tardíos de movimiento hacia el SO de la cuña orogénica. Existen evidencias locales de compresión NE-SO (6a, Fig. 2A) que po-

dría estar en relación con el avance de las Zonas Internas sobre las Zonas Externas y sería responsable de los cabalgamientos de las unidades del Rif Interno sobre el Rif Externo. Este movimiento se acomoda-

daría a lo largo de la falla de Jebha-Chrafate (Tapponnier, 1977; Olivier, 1982) con superficies de dirección N60°E-N80°E, estrías subhorizontales y régimen sinistro (Fig. 3A).

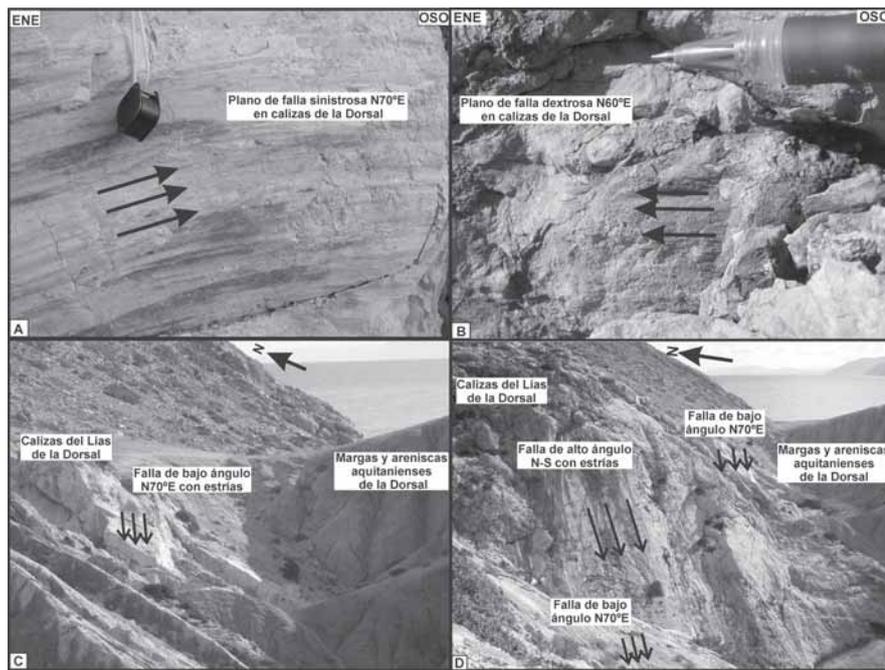


Fig. 3.- Principales características de las fallas en la región de Jebha. Indicadores cinemáticos de movimiento sinistro (A) y dextro (B) en fallas subverticales de dirección ENE-OSO. C, Fallas normales de bajo buzamiento con desplazamiento del bloque de techo al OSO. D, Superposición de fallas normales de elevado buzamiento sobre fallas normales de bajo buzamiento. Las flechas indican el movimiento del bloque en el que se sitúa el lector.

Fig. 3.- Main features of the Jebha region faults. Sinistral (A) and dextral (B) subvertical ENE-OSO faults. C, low angle normal faults with a top-to-the WSW motion. D, overprinting of high and low angle normal faults. Arrows indicate the motion of the block where is located the reader.

Posteriormente se han reactivado las estructuras en un nuevo contexto tectónico que lleva asociado paleoesfuerzos con compresión de dirección NO-SE, tanto en la región de Jebha como en Chrafate- Ametrase (Fig. 2). En este nuevo contexto se han producido los desgarres dextros asociados a la falla de Jebha-Chrafate (Fig. 3B) y los pliegues E-O que afectan a las formaciones de la Predorsal en Jebha (Figura 2A). Esta dirección de compresión coincide con la dirección de acortamiento entre las placas Euroasiática y Africana, sin que se detecte ninguna influencia del desplazamiento hacia el oeste del Dominio de Alborán

Finalmente, las fallas más recientes indican una etapa de extensión pluridireccional, a veces con una tendencia marcada en dirección N-S, en la que se producen fallas normales de elevado buzamiento. Esta etapa está asociada a la elevación del relieve de la Cordillera Rifeña que origina una línea de costa acantilada.

Los nuevos datos sobre la zona de Falla Jebha-Chrafate subrayan la importancia de las deformaciones extensivas

durante el emplazamiento de las Zonas Internas del Rif y la inversión en la cinemática que ha sufrido esta zona de falla de transferencia.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias a la beca postdoctoral concedida al primer firmante por parte de la Agencia Española de la Cooperación Internacional (AECI) 2004-2005. El trabajo ha sido financiado por proyectos de la Consejería de Presidencia (Junta de Andalucía), AECI y BTE 2003-01699 (CICyT).

Referencias

Andrieux, J. (1971). *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 235, 155p.
 Benmakhlof, M. (1990). *Genèse et évolution de l'accident de Tétouan et son rôle transformant au niveau du Rif interne (Maroc)*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle, Univ. Mohammed V, Rabat Maroc, 175p.
 Biju-Duval, B., Rivereau, J.C., Lamperin, C. y López N. (1976). *Revue de l'Insti-*

tut français du pétrole, 31, 365-400.
 Bourgeois, J. (1978). *La transversale de Ronda (Cordillères Bétiques, Espagne)*. *Données géologiques pour un modèle d'évolution de l'arc de Gibraltar*. Thèse Sc., Univ. Besançon, 453p.
 Chalouan, A. y Michard, A. (1989). *Pure and Applied Geophysics*, 161, 489-519.
 Chalouan, A., Ouazani-Touhami, A., Mouhir, L., Saji, R. y Benmakhlof, M. (1995). *Geogaceta*, 17, 107-109.
 De Mets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F. y Stein, S. (1990). *Geophysical Journal International*, 101, 425-478.
 Demnati, A. (1972). *Bolletino di geofisica Teorica ed Applicata*, 14, 55, 203-236.
 El Kadiri, Kh. (1985). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 8, 1, 363-379.
 Galindo-Zaldívar, J. y González-Lodeiro, F. (1988). *Annales Tectonicae*, 2, 90-97.
 Kornprobst, J. (1971). *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 251, 256p.
 Morley, C.K. (1987). *Geology*, 15, 761-764.
 Olivier, Ph. (1978). *Étude géologique et structurale de la région de Jebha (Rif, Maroc)*. *La terminaison NE de l'accident de Jebha-Chrafate*. Thèse 3^{ème} Cycle, Univ. Toulouse, 129p.
 Olivier, Ph. (1982). *Revue de géologie dynamique et de géographie physique*, 23, 97-106.
 Olivier, Ph. (1984). *Evolution de la limite entre zone interne et zones externes dans l'arc de Gibraltar (Maroc-Espagne)*. Thèse de Doctorat, Univ. Paul Sabatier, Toulouse III, 229p.
 Sanz de Galdeano, C. (1990). *Tectonophysics*, 172, 107-119.
 Suter, G. (1980). *Carte structurale de la chaîne rifaine au 1:500 000*. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 245p.
 Taponnier, P. (1977). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7, 437-460.
 Tejera de León, J. (1997). *Journal of African Earth Sciences*, 24, 455-472.
 Van Den Bosch, J.W.M. (1981). *Mémoire explicative de la carte gravimétrique du Maroc (province du Nord) au 1:500000*. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 219 p.
 Zaghoul, M.N., Di Staso, A., El Moutcho, B., Gigliuto, L.G. y Puglish, D. (en prensa). *Bolletino della Società Geologica Italiana*.