

El campo de esfuerzos compresivo neógeno en el NE de la Península Ibérica

The Neogene compressional stress field in the NE Iberian Peninsula

A. L. Cortés, C.L. Liesa, J. L. Simón, A. M. Casas, A. Maestro y L. Arlegui

Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza. Plaza San Francisco s/n. 50009 Zaragoza.

ABSTRACT

The Neogene stress field in the northeastern Iberian Peninsula is reconstructed from the analysis of brittle mesostructures (stylolites, tension gashes, fault populations and joints). Compression directions obtained show three maxima: N-S to NNE, NW-SE and NE-SW. Stress trajectories can be interpreted according to two hypothesis: 1) An only primary stress field, with deflections due to the movement of large faults; however, some of the deflected trajectories and swapping of stress axes are anomalous and cannot be explained by classical models. 2) Two primary stress fields resulting from successive convergence in the northern and southern margins of the Iberian plate. The N-S to NNE, «Pyrenean», compression is deflected in the Iberian Chain to NE and E-W directions. The NNW stress field, transmitted from the southern margin of the plate is more homogeneous. Both stress fields, NNE and NNW would alternate, or superimpose during the Neogene: regional deformation in the Iberian Chain agrees with a NNW compression late with respect to the Pyrenean NNE shortening.

Key words: Compression, Stress fields, Neogene, NE Iberian Peninsula.

Geogaceta, 20 (4) (1996), 806-809
ISSN: 0213683X

Introducción

El sector NE de la Península Ibérica comprende cuatro grandes unidades estructurales: Cordillera Ibérica, Cuenca del Ebro, Catalánides y Pirineos. La formación de las principales estructuras de estos sectores tuvo lugar fundamentalmente durante la compresión paleógena, aunque se registran estados de esfuerzo compresivos en materiales que llegan hasta el Plioceno.

El principal objetivo de este trabajo es caracterizar el campo compresivo que ha actuado en el NE de la Península Ibérica durante el Neógeno, es decir, tras la edificación de las principales cadenas alpinas de este sector. Para ello se han recopilado los resultados de una serie de estaciones con estructuras frágiles que permiten conocer en cada caso la orientación del eje de máxima compresión. A partir de estos datos se han realizado mapas de trayectorias de σ_1 utilizando el programa «LIS-SAGE» de Lee y Angelier (1994), que calcula dichas trayectorias a partir de los datos proporcionando una imagen del campo de esfuerzos que ha actuado y de sus posibles perturbaciones.

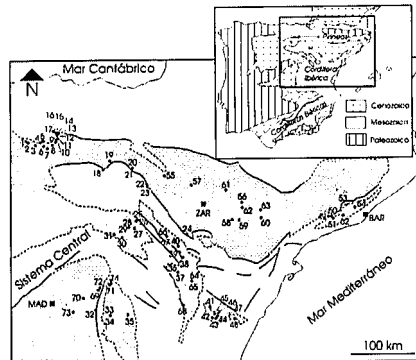


Fig. 1.- Situación de las estaciones seleccionadas en el NE de la Península Ibérica (MAD: Madrid; ZAR: Zaragoza; BAR: Barcelona). El color gris representa los sedimentos neógenos.

Fig. 1.- Location of the selected sites in the NE Iberian Peninsula (MAD: Madrid; ZAR: Zaragoza; BAR: Barcelona). Neogene sediments in grey.

Metodología

La determinación del campo de esfuerzos compresivo neógeno se ha llevado a cabo a partir de 92 estaciones distribuidas por toda la zona estudiada pero

que, debido a la proximidad geográfica de algunas de ellas, han quedado reducidas a 62 puntos, con 74 datos de dirección del eje σ_1 horizontal (Fig. 1). Los requisitos exigidos para la selección de cada una de las estaciones han sido su localización en materiales neógenos y la posición del esfuerzo principal máximo (σ_1) próximo a la horizontal.

Los resultados de las distintas estaciones proceden del análisis de unas 1200 fallas con indicadores cinemáticos, alrededor de 200 picos estilolíticos y cantos impresos y unas 1700 diaclasas con indicadores de sentido de cizalla.

Los datos de paleoesfuerzos locales han sido recopilados a partir de los trabajos de los siguientes autores (ver tabla 1): Simón Gómez (1990a) en el borde nororiental de la Cuenca del Duero; Casas (1992) en la Cuenca del Ebro, al norte de las Sierras de Cameros; Simón Gómez (1989a) y Maestro (1994) en la Cuenca de Almazán; Román Berdiel (1990), Gil Peña (1991) y De Vicente *et al.*, (1996) en la Cuenca de Lorca y sector oriental de la Cuenca de Madrid; Simón Gómez (1983, 1984, 1989b), Paricio (1985) y Calvo (1993) en las cuencas terciarias in-

ternas de la Cordillera Ibérica (Calatayud, Jiloca, Alfambra, Teruel y Mijares); Cortés (1994) en el borde norte de la Cordillera Ibérica; Arlegui (1996) en el sector central de la Cuenca del Ebro; Amigó (1986) y Guimerà (1988) en las cuencas terciarias catalanas.

El programa «LISSAGE» de Lee y Angelier (1994) requiere para cada estación (o cada dirección del eje de esfuerzos representado) los siguientes datos:

(1) Coordenadas del punto (X, Y), que pueden ser geográficas o, como en nuestro caso, arbitrarias.

(2) Azimut del eje de esfuerzos representado (AZI), en nuestro caso σ_1 .

(3) Posibilidad de permutación del eje en un determinado punto; hemos permitido el intercambio de σ_1 con σ_2 en algunos puntos concretos al oeste de la Cordillera Ibérica (sector oriental de la Cuenca de Madrid y Cuencas de Loranca y Almazán).

(4) Error angular en grados para cada dato (THETA); el error medio para el conjunto de los 74 valores considerados ha sido de 15,8°.

Resultados y discusión

Tanto en la rosa de direcciones como en la curva suavizada de frecuencias relativas realizados para el total de las 74 direcciones de σ_1 (Fig. 2) se observa un máximo absoluto de dirección aproximada N-S (N009), y máximos relativos en direcciones N035, N060 y N150. La gran mayoría de los tensores corresponden a un régimen de desgarre (σ_2 vertical). A la vista de estos datos se puede pensar en la existencia de un campo compresivo regional con σ_1 entre N-S y NNE-SSW y de campos NE-SW y NW-SE que podrían corresponder, bien a campos primarios de carácter regional o bien a perturbaciones locales.

La distribución espacial de estas direcciones de esfuerzo no es en absoluto homogénea. En la banda situada al N, que incluye las Catalánides, Cuenca del Ebro y N de la Cuenca del Duero, domina la dirección N-S o próxima. Si tenemos en cuenta que en la mayor parte de esta banda, especialmente dentro de la Cuenca del Ebro, no existen estructuras importantes que puedan perturbar el campo de esfuerzos regional, podemos pensar que la dirección N a NNE observada allí representa el campo primario.

Las direcciones de compresión que se alejan del máximo principal (direcciones NW, NE y E) se encuentran mayoritariamente en zonas de estructuración más

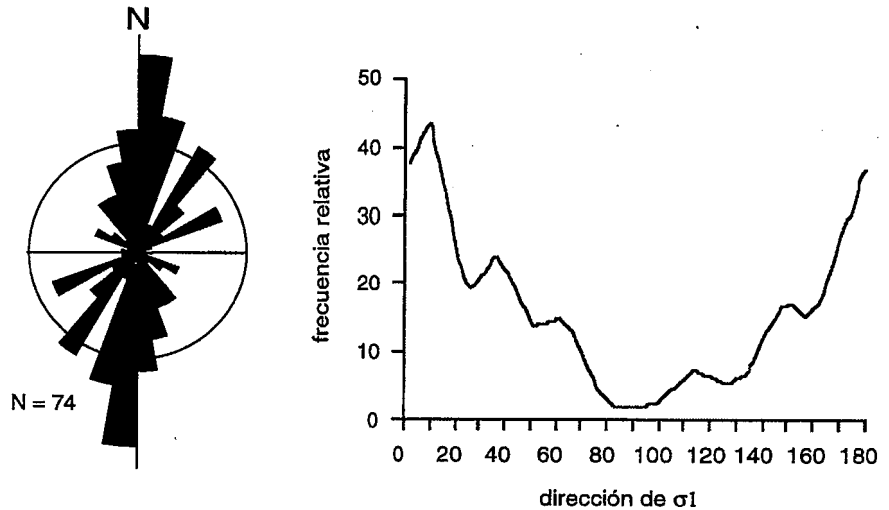


Fig. 2.- Diagrama en rosa y curva suavizada de direcciones de σ_1 . Diagrama en rosa: el círculo representa el 10% de los datos (porcentaje máximo: 17,5%; dirección media: N008; intervalo entre clases: 10 grados).

Fig. 2.- Rose diagram and frequency curve of σ_1 directions. Rose diagram: the circle represents the 10% of data (maximum percentage: 17,5%; mean direction: N008; class interval: 10 degrees).

compleja, como son el interior de la Cordillera Ibérica y la Cadena Costero Catalana. Estas direcciones minoritarias aparecen también en las estaciones del norte de la Depresión del Duero. Para esta área, Simón Gómez (1990a), que considera un campo regional NNE, observa una variación sistemática de la dirección de σ_1 desde N-S hasta ESE en las cercanías del diapiro salino de Poza de la Sal. La proximidad de este diapiro, o bien alguna de las fallas cartográficas ESE del área, podrían

explicar tal variación como una perturbación local del campo de esfuerzos regional NNE. Otro caso, si bien más puntual, es la orientación NNW-SSE obtenida en la estación situada en el surco riojano de la Cuenca del Ebro. Esta orientación local, presente asimismo en otras estaciones del área en materiales más antiguos, ha sido interpretada por Casas (1992) como una desviación del campo regional causada por la rampa oblicua ENE del calbagamiento de Cameros.

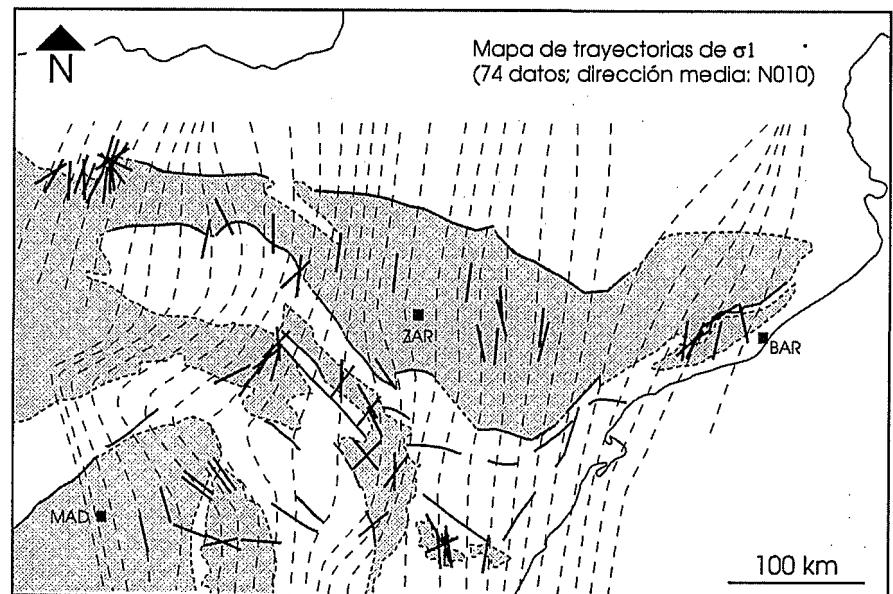


Fig. 3.- Campo de esfuerzos primario N-S con sus perturbaciones (74 estaciones; azimut medio de σ_1 : N010).

Fig. 3.- N-S primary palaeostress field with its deflections (74 sites; average azimuth of σ_1 : N010).

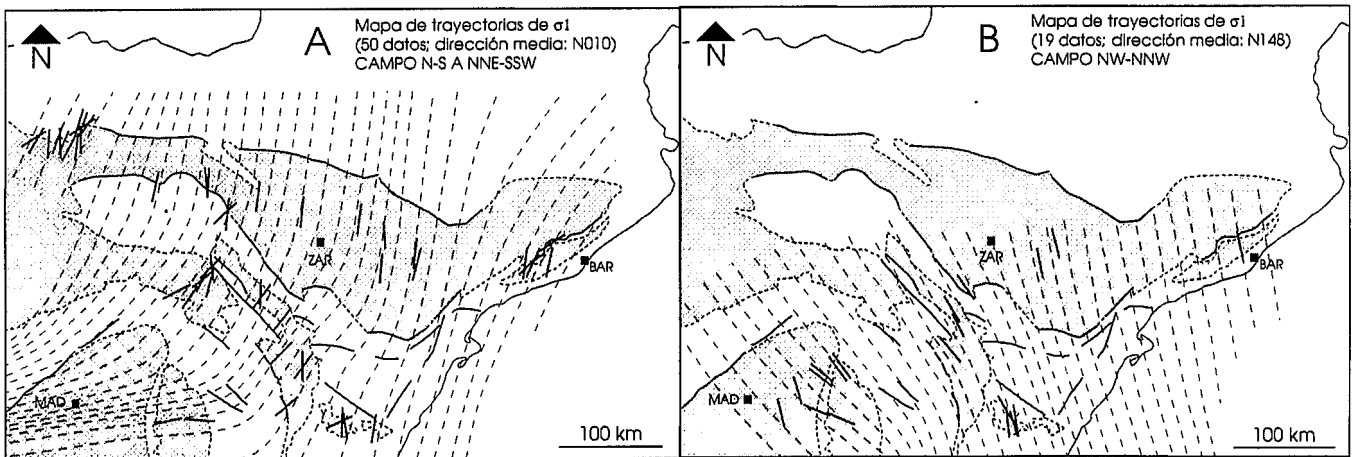


Fig. 4.- A) Campo de esfuerzos primario N a NNE con perturbaciones NE y E (50 estaciones; azimut medio de σ_1 : N010). B): Campo de esfuerzos primario NW a NNW (19 estaciones; azimut medio de σ_1 : N148).

Fig. 4.- A) N to NNE primary paleostress field with NE to E deflections (50 sites; average azimuth of σ_1 : N010). B) NW to NNW primary palaeostress field (19 sites; average azimuth of σ_1 : N148).

De esta manera podemos separar dos áreas o bandas de características algo diferentes: (a) Una banda situada al norte (Cuenca del Ebro, noreste de la Cuenca del Duero y Catalánides) donde dominan las direcciones de esfuerzo próximas a NNE con pequeñas variaciones asimilables a perturbaciones locales del campo regional de esfuerzos. (b) Otra banda situada al sur (Cordillera Ibérica fundamentalmente) donde, aun existiendo la dirección anterior, adquieren mayor representación las NNW-SSE, NE-SW y, en menor medida, E-W.

Con lo visto hasta el momento podemos plantear dos hipótesis que expliquen la orientación y distribución de las direcciones de compresión consideradas en el sector NE de la Península:

1) Que exista un campo regional N-S a NNE con desviaciones hacia el NW y NE. Desarrollar este modelo integrando adecuadamente todas las posibles perturbaciones es una tarea compleja. En primer lugar, deberíamos descender a una escala de mayor detalle a fin de identificar las posibles macroestructuras activas durante el Neógeno responsables de tales perturbaciones. Además, hay que hacer coexistir direcciones perturbadas y no perturbadas, intercambios de ejes en la horizontal, a la vez que se hacen necesarios modelos de desviaciones en el oeste de la zona estudiada (Cuenca de Madrid y Sierra de Guadarrama) diferentes a los descritos hasta el momento (Fig. 3).

2) Que coexistan o se alternen dos campos de esfuerzos. El campo de esfuerzos próximo a N-S es dominante en la Cuenca del Ebro y Pirineo a lo largo prácticamente de todo el Terciario. Del mismo modo, el campo NW-SE corresponde al

dominio bético y Sistema Central, mientras que en la Cordillera Ibérica aparecen direcciones N-S, NE-SW y NW-SE (Fig. 4). Seleccionando las direcciones regionales en la Cuenca del Ebro y las direcciones NE-SW y E-W de todo el conjunto se ha obtenido un mapa de trayectorias de σ_1 (Fig. 4A) donde las direcciones pasan, de norte a sur, paulatinamente desde orientaciones NNE a NE y E, disponiéndose perpendicularmente a las estructuras principales (NE en las cuencas neógenas internas de la Cordillera Ibérica y E-W en la Cuenca de Loranca). Por otra parte, si consideramos las direcciones NW a NNW presentes (Fig. 4B) obtenemos asimismo un patrón de esfuerzos muy homogéneo que se corresponde con el interpretado por De Vicente *et al.*, (1996) para la Cuenca de Madrid.

Esta segunda hipótesis plantea la existencia de un campo regional en el interior de la Placa Ibérica que sería resultado de la superposición de dos campos primarios originados en cada uno de los márgenes activos de la placa: el Pirineo y las Béticas. Desde el margen pirenaico se transmitiría una compresión de dirección N a NNE, y desde el margen bético una compresión NW a NNW, produciéndose entre ambas un cambio continuo en el espacio. Aunque de un modo general ambos campos primarios se suman a lo largo de todo el Neógeno, su importancia relativa pudo variar según la mayor o menor intensidad de uno u otro. El periodo de máxima actividad en el margen pirenaico corresponde al Paleógeno e inicio del Mioceno; tras la colisión en dicho margen, la convergencia entre África y Europa es transferida al margen bético, que funciona hasta el Cuaternario. Esta evo-

lución geodinámica de la Placa Ibérica hubo de traducirse necesariamente en una cierta secuencia temporal en el predominio del campo compresivo NNE y del NNW a lo largo del Neógeno.

La Cordillera Ibérica, situada en una posición intraplaca, es la zona donde la superposición de estos dos campos, su interrelación y sus variaciones temporales quedan mejor representadas. Además, en los sectores central y oriental de la misma actúa un tercer campo primario de carácter extensional ligado al *rifting* de la Cuenca de Valencia. Durante el Mioceno este campo primario presenta un σ_3 bien definido en dirección E a ESE, controlado por la dirección del *rifting*, mientras en el Plioceno la extensión tiende a ser radial o multidireccional ($\sigma_2 \approx \sigma_3$) (Simón Gómez, 1984). En este último periodo el eje σ_2 estaría controlado básicamente por la dirección del campo compresivo, que es ya predominantemente NNW (Simón Gómez, 1989b, 1990b). La macroestructura neógena del interior de la cordillera revela esa secuencia. Así, la fosa tectónica de Alfambra-Teruel-Mira, de orientación entre N y NNE, se generó en el Mioceno, mientras la del Jiloca, con una alineación NNW-SSE, es de edad pliocena (Simón Gómez, 1983).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos PB93-1218, financiado por la DGICYT, y SHISTO 2-SIGMA, financiado por ENRESA y el Consejo de Seguridad Nuclear. Agradecemos a T. Román Berdiel e I. Gil Peña la aportación de datos para la elaboración del mismo.

EST	AUTOR (AÑO)	EDAD	AZI	PRM	THETA	ESTRUCTURA
1	Simón Gómez(1990a)	MIOC INF	60		25	ST 27 / 27
2	"	"	34		53	FALL 10 / 15
3	"	"	4		5	FALL 17 / 24
4	"	"	19		2	FALL 8 / 13
5	"	"	4		8	FALL 14 / 19
6	"	"	20		25	ST 13 / 13
7	"	"	29		10	FALL 16 / 18
8	"	"	10		18	ST 18 / 18
9	"	"	176		30	FALL 16 / 16
10	"	"	169		15	FALL 20 / 21
11	"	"	140		22	FALL 21 / 21
12	"	"	112	2	20	FALL 19 / 19
13	"	"	52		4	FALL 7 / 12
14	"	"	35		25	ST 14 / 14
15	"	"	60		15	FALL 7 / 18
16	"	"	17		13	FALL 11 / 18
17	"	"	15		10	ST 5 / 6
18	Casas (1992)	"	9		20	FALL 27 / 43
19	"	"	153		20	FALL 22 / 24
20	"	"	175		20	FALL 16 / 78
21	"	"	1		20	FALL 55 / 78
22	"	MIOCENO	45		20	C. impresos
23	"	"	5		10	C. impresos
24	Cortés (1994)	MIOC INF	146		11	FALL 12 / 20
25	Maestro (1994)	MIOC MED	40		40	ST 11 / 45
26	Simón (1989a) Maestro (1994)	"	177		20	ST 25 / 45
27	"	MIOC INF	17		2	FALL 7 / 25
28	"	MIOC MED	66		4	FALL 13 / 36
29	"	"	34		11	FALL 14 / 36
30	"	"	31		20	ST 18 / 19
31	"	PLIOCENO	64		4	FALL 5 / 5
32	Gil Peña (1991)	MIOC SUP	112	2	10	FALL 33 / 50
33	"	MIOC MED	79	2	20	FALL 7 / 36
34	"	"	113	2	20	FALL 17 / 36
35	Román Berdiel (1990)	"	96	2	3	FALL 8 / 13
36	Calvo (1993)	MIOC INF	139		20	FALL 18 / 55
37	"	"	46		20	FALL 28 / 55
38	"	MIOCENO	154		20	ST 7 / 11
39	Simón Gómez (1983)	"	35		20	ST 14 / 17
40	"	"	150		15	ST 19 / 19
41	Simón Gómez (1984)	MIOC INF	150		10	FALL 15 / 15
42	Paricio (1985)	MIOCENO	170		10	FALL 8 / 10
43	"	"	160		30	FALL 13 / 13
44	"	"	168		30	FALL 4 / 4
45	"	"	65		20	FALL 5 / 35
46	"	"	175		10	FALL 7 / 35
47	"	"	5		15	FALL 10 / 35
48	Simón Gómez (1984)	MIOC INF	10		15	FALL 5 / 5
49	Guimerà (1988)	PLIOCENO	8		12	FALL 7 / 7
50	Amigó (1986)	MIOC INF	45		20	FALL 6 / 6
51	Guimerà (1988)	"	30		10	FALL 21 / 81
52	"	MIOCENO	15		15	FALL 8 / 10
53	"	MIOC INF	60		14	FALL 6 / 14
54	"	"	170		15	FALL 7 / 14
55	Arlegui (1996)	MIOCENO	7		13	FALL 371
56	"	"	176		15	DIAC 42
57	"	"	8		7	DIAC 50
58	"	"	168		10	DIAC 138
59	"	"	8		10	DIAC 193
60	"	"	15		15	DIAC 330
61	"	"	12		10	DIAC 175
62	"	"	170		17	DIAC 522
63	"	"	8		10	DIAC 249
64	Simón Gómez (1989b)	"	33		20	FALL 11 / 19
65	"	"	1		20	FALL 8 / 19
66	"	"	35		20	FALL 15 / 18
67	"	"	175		20	FALL 3 / 18
68	Simón Gómez (1983)	"	50		20	ST 9 / 13
75	De Vicente et al. (1996)	MIOC MED	128		11	FALL 5 / 8
76	"	MIOC SUP	163		15	FALL 12 / 24
71	"	MIOC INF	144		5	FALL 6 / 8
72	"	MIOC MED	128		15	FALL 5 / 8
73	"	MIOC SUP	166		15	FALL 18 / 20
74	"	"	147		2	FALL 19 / 22

Referencias

Amigó, J. (1986). *Tesis Doctoral, Univ. Barcelona*. 253 p.

Arlegui, L.E. (1996). *Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza (en preparación)*.

Calvo, J.M. (1993). *Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza*. 355 p.

Casas, A.M. (1992). *Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza. Pub. Inst. Est. Riojanos, Zubia. Monográfico nº 4*, 220 p.

Cortés, A.L. (1994). *Tesis de Licenciatura, Univ. Zaragoza*. 171 p.

De Vicente, G.; Giner, J.L.; Muñoz-Martín, A.; González-Casado, J.M. y Lindo, R. (1996). *Tectonophysics (en prensa)*.

Gil Peña, I. (1991). *Informe complementario de tectónica de los MAGNAs 585 (Almonacid de Zorita) y 608 (Huete)*. Inédito.

Guimerà, J. (1988). *Tesis Doctoral, Univ. Barcelona*. 600 p.

Lee, J. C. y Angelier, J. (1994). *Computers and Geosciences*, 20 (2) 161-191.

Maestro, A. (1994). *Tesis de Licenciatura, Univ. Zaragoza*. 159 p.

Paricio, J. (1985). *Tesis de Licenciatura, Univ. Zaragoza*. 88 p.

Román-Berdiel, T. (1990). *Informe complementario de tectónica del MAGNA 586 (Gascuña)*. Inédito.

Simón Gómez, J.L. (1983). *Teruel*, 69, 21-97.

Simón Gómez, J.L. (1984). *Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza. Pub. Inst. Est. Turolenses. Teruel*. 269 p.

Simón Gómez, J. L. (1989a). *Informe complementario de tectónica de las hojas MAGNA 1:50.000 de la Cuenca de Almazán*. Inédito.

Simón Gómez, J.L. (1989b). *Journ. Struct. Geol.*, 11 (3), 285-294.

Simón Gómez, J.L. (1990a). *Análisis de paleofuerzos tectónicos en los sectores de la plataforma burgalesa y de la banda plegada (N de la provincia de Burgos)*. Informe inédito.

Simón Gómez, J.L. (1990b). *Geogaceta*, 8, 123-130.

Tabla 1. Datos de los paleofuerzos. EST: estación (ver situación en la figura 1). EDAD: MIOC INF (Mioceno inferior); MIOC MED (Mioceno medio); MIOC SUP (Mioceno superior). AZI: dirección en grados del eje σ_1 . PRM: posibilidad de intercambio entre ejes de esfuerzo (2: intercambio entre σ_1 y σ_2). THETA: error angular en grados. ESTRUCTURA (explicadas / totales): ST (stylolitos); FALL (fallas); DIAC (diacclasas); C. impresos (cantos impresos).

Table 1. Palaeostresses data. EST: site (see location in figure 1). EDAD (age): MIOC INF (Lower Miocene); MIOC MED (Middle Miocene); MIOC SUP (Upper Miocene). AZI: azimuth of σ_1 axis in degrees. PRM: permutation between stress axis (2: permutation between σ_1 and σ_2). THETA: angular error range in degrees. ESTRUCTURA (structure: explained / total): ST (stylolites); FALL (faults); DIAC (joints); C. impresos (impressed pebbles).