

Análisis mesoestructural automático del diaclasado: programa "Joints". Aplicación a un sector del antepaís Bético

Automatic mesostructural analysis of joints: the "Joints" program. Application in a sector of the Betic foreland

P. J. Rincón(*), J.L. Jurado(**) y R. Vegas(*)

(*) Dpto. de Geodinámica, Fac. de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense; 28.040, Madrid.

e-mail: Ruidera@eucmax.sim.ucm.es

(**) Dpto. de Economía y Empresa (Área de Matemáticas) de la Facultad de C.C. Jurídico-Sociales de Toledo (Universidad de Castilla la Mancha). C/ Cobertizo de San Pedro Mártir s/n. Toledo.

ABSTRACT

Computational methods related with the analysis of fault populations (striated planes) are used currently for the characterisation of the deformation in intraplate zones. Although these methods are quite successful, we propose the use of an alternative methodology based on the statistical analysis of the spatial distribution of jointed planes: the JOINTS program. Its application to a sector of the Betic foreland (Central Spain) has proportioned some interesting insights about the neotectonic stress configuration, which are in accordance with data obtained from fault population analysis.

Key words: *Joints, automatic computation, Neotectonics, Betic foreland, central Spain*

Geogaceta, 27 (1999), 147-150

ISSN: 0213683X

Introducción

Durante las tres últimas décadas se han ideado y desarrollado numerosas metodologías ocupadas en el análisis dinámico y mecánico de la fracturación fundamentadas en el tratamiento de una población de datos adquiridos en campo referidos a mesoestructuras frágiles, básicamente planos de falla estriados. Este desarrollo importante contrasta con la ausencia de una metodología práctica ocupada de la caracterización mecánica y dinámica del diaclasado. Tradicionalmente se ha considerado, no sin razón, que este análisis poblacional de fallas era el más adecuado para tales objetivos. Tal afirmación parece ser cierta porque los planos de falla estriados proporcionan información interesante no sólo sobre la orientación en el espacio del plano donde ha sucedido la fractura, sino también sobre el modo y el sentido de desplazamiento de los bloques afectados por tal proceso. Sin embargo, no siempre es posible emplear estas metodologías, sencillamente porque no siempre existen o son visibles los planos de falla estriados; o, si afloran, la calidad de la estría puede desaconsejar su registro. No cabe duda alguna de que el análisis poblacional de fallas es la metodología más útil siempre y cuando sea posible emplearla. Por otro lado, tampoco parece sensato despreciar

otros elementos mesoestructurales existentes ya que, cuando menos, su estudio puede servir para contrastar resultados. Uno de estos elementos es el *diaclasado*.

Las diaclasas son el resultado más común de la deformación frágil de las rocas sobre la corteza, las cuales controlan o condicionan por ejemplo, gracias a sus afloramientos a escalas diversas, buena parte de la fisiografía. Aparecen en una amplia variedad de litologías y de entornos geodinámicos; y suele considerarse (Arlegui, 1996) que se trata de un tipo de mesoestructura poligénica, generada por procesos tectónicos *sensu stricto* o por procesos atectónicos (enfriamiento de coladas lávicas, descompresión asociada con procesos erosivos, etc.). La bibliografía consultada (Scheidegger, 1980; Hancock y Engelder, 1989; Rives y Petit, 1990; Twiss y Moores, 1992) propone diversos "soportes teóricos" capaces de explicar si no la génesis del diaclasado, sí una supuesta distribución espacial de los tres ejes principales de esfuerzo causante del mismo. En todos los casos, esta distribución está basada en la geometría de afloramiento de los planos de diaclasado. El análisis mesoestructural de las diaclasas apenas ha sido considerado por la comunidad científica en el ámbito nacional. Algunos antecedentes lo constituyen los trabajos de Simón (1989), Hancock y Engelder

(1989), Campos *et al.* (1995), Rincón (1995), Arlegui (1996), Merino *et al.* (1996), Maestro *et al.* (1997), Cortes y Maestro (1997), o Arlegui y Simón (1998).

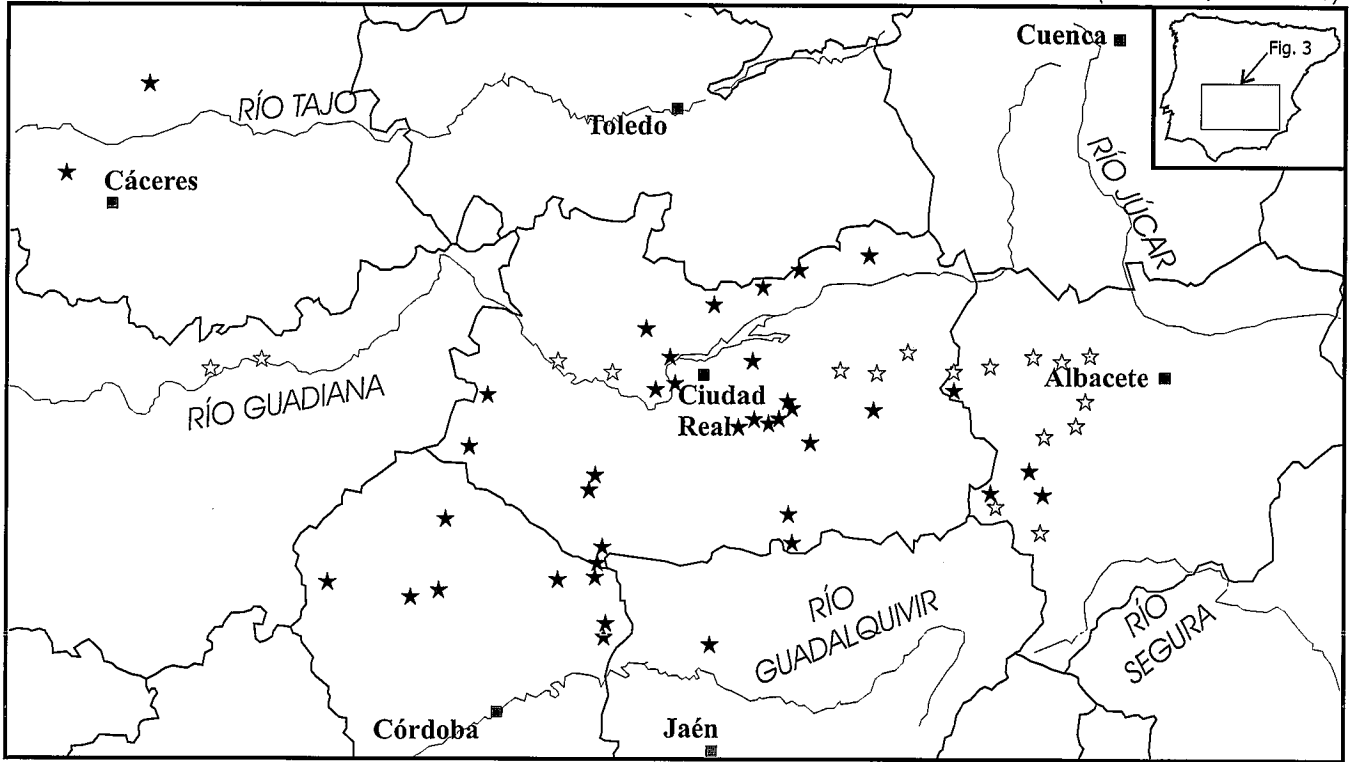
Durante el desarrollo de un análisis mesoestructural de parte del Antepaís Bético (Rincón, 1999) (Fig. 1) basado en el uso de planos de falla estriados, nos planteamos la posibilidad de contrastar los resultados mediante la consideración de los planos de diaclasado. Sin embargo, para ello era necesario automatizar todo el tratamiento matemático más básico que supondría este intento de análisis poblacional del diaclasado, surgiendo así el programa informático JOINTS. Tal y como proponen las citas consultadas, el interés fundamental del análisis de este tipo de mesoestructura frágil hubo de centrarse y plantearse, más que en el conocimiento de su origen, en el establecimiento de un patrón espacial de su afloramiento. Una vez logrado éste podría realizarse una estimación teórica sobre la disposición espacial de los tres ejes de esfuerzos principales representativos de la deformación que originó este diaclasado.

Fundamentos teóricos del programa Joints. Metodología de trabajo

El programa JOINTS pretende facilitar el análisis estadístico y mecánico au-

(X:170000, Y:4449900)

(X:660000, Y:4449900)



(X:170000, Y:4175100)

(X:660000, Y:4175100)

- ★ Estaciones de diaclasas en materiales del Prec.-Pal.
- ☆ Estaciones de diaclasas en materiales del Mesoz.
- ☆ Estaciones de diaclasas en materiales del Mioc.-Act.

Figura 1: Localización general del área de trabajo y de las estaciones de registro (incluyendo la edad de los materiales).

Figure 1: Location of the studied area and the joint data stations (including the age of the materials).

tomático de los planos de diaclasadado: análisis poblacional de diaclasas. Proporciona una estadística descriptiva de los datos obtenidos *in situ* en distintas estaciones de trabajo, además de una presentación ordenada de los resultados. Esta descripción se completa con la representación gráfica de los planos mediante proyección estereográfica (Wulff o Schmidt, hemisferio inferior), así como mediante diagramas de densidades, histogramas de frecuencia y rosas direccionales de frecuencia. Por último, el programa proporciona soluciones numéricas y gráficas de los tensores de esfuerzo teóricos capaces de explicar la generación mecánica de las diaclasas analizadas en cada población, así como diversas posibilidades de exportación de los ficheros a otros programas informáticos usados tradicionalmente para el análisis estructural geológico (Fig. 2).

JOINTS analiza matemáticamente un único tipo de fracturas geológicas: las diaclasas; bajo los supuestos teóricos de Hancock y Engelder (1989) y de Scheidegger (1980). Considera, además,

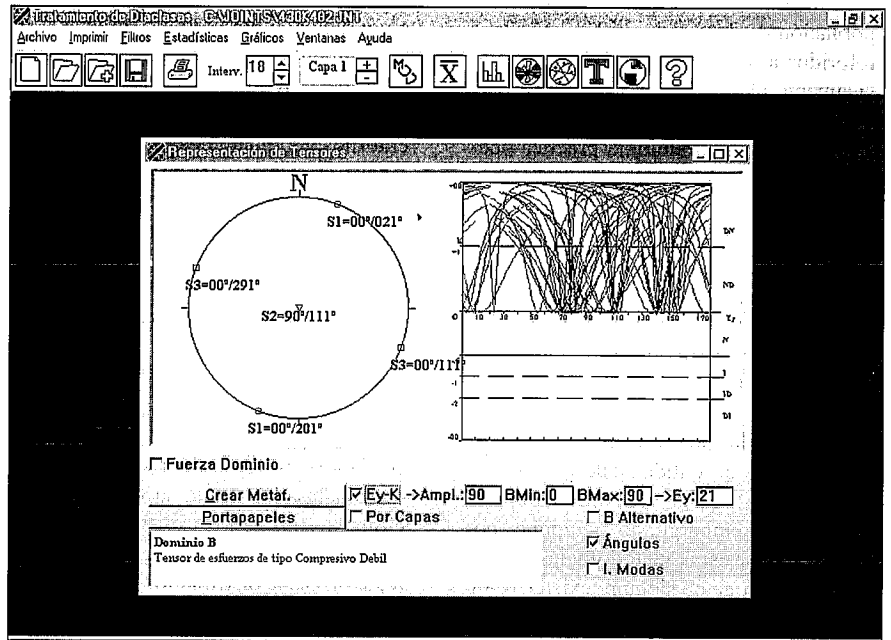


Figura 2: Pantalla principal del programa JOINTS con uno de sus apartados posibles activado.

Figure 2: Basic screen of JOINTS with one of their sections activated.

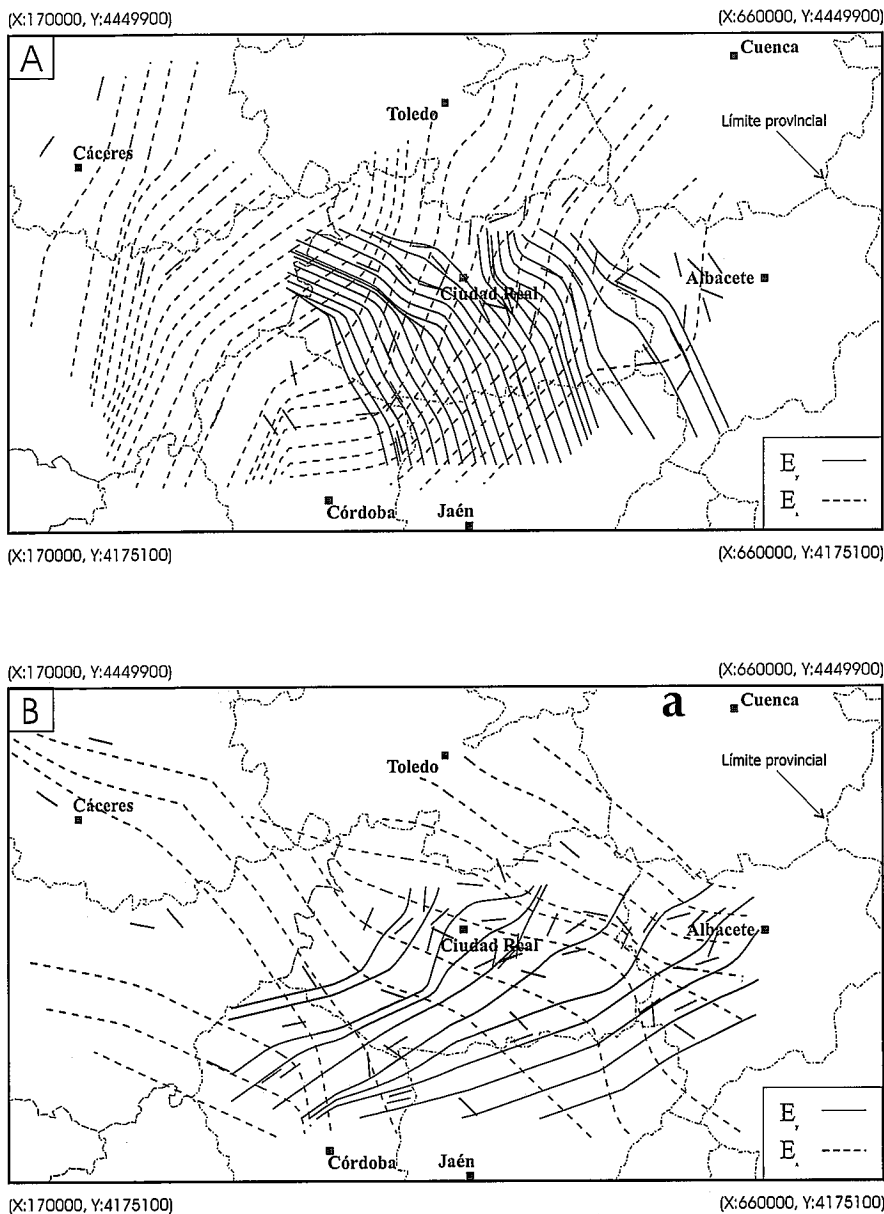


Figura 3: Trayectorias superpuestas de la máxima (línea continua) y mínima (línea discontinua) compresión en la horizontal obtenidas para la Moda 1 (figura superior) y la Moda 2 (figura inferior).

Figure 3: Superposition of trajectories for the maximum (continuous lines) and the minimum (discontinuous lines) horizontal compressions obtained for the Mode 1 (upper map) and the Mode 2 (lower map).

parte del desarrollo teórico y matemático propuesto por De Vicente (1988) para el análisis poblacional de fallas cuando la disposición espacial del diaclasado cumple ciertos requisitos. Al igual que Arlegui (1996), para la elaboración del programa y su aplicación en este trabajo hemos considerado al denominable como muestreo ciego el sistema más idóneo para adquirir los datos mesoestructurales de partida. Éste consistiría en la elección de un afloramiento de buena calidad y en la medición sobre él de tantas fracturas existentes como consideremos necesarias

(por ejemplo, un mínimo de 50 planos), primando siempre durante el proceso de la adquisición un criterio de objetividad total.

Todo el tratamiento matemático referido al cálculo tensorial en el programa parte de una premisa impuesta por el método: la subdivisión de los datos potencialmente registrables en campo en tres Dominios de trabajo. El significado estructural de los Dominios de trabajo es una consecuencia directa del supuesto teórico que se considere para explicar la población de diaclasas (de tipo I, de tipo

II, o una mezcla de ambas), el cual depende del parámetro angular « α » (valor angular más bajo, ángulo agudo, definible entre el intervalo espacial que representa la 1ª moda y el intervalo espacial que representa la 2ª moda) y, por tanto, de las dos primeras modas estadísticas definibles para la población.

Para el Dominio A ($90^\circ < \alpha < 70,2^\circ$), se estima por defecto una propuesta tensorial de tipo extensional pura y diaclasas preferentemente de tipo I (consideración de los supuestos teóricos de Hancock y Engelder, 1989).

En el Dominio B ($70,2^\circ < \alpha < 15,3^\circ$), sin embargo, predominarían las diaclasas de tipo II y un tensor de esfuerzos compresivo, dentro de la extensión preferente que supone la génesis del diaclasado (consideración de los supuestos teóricos de Scheidegger, 1980).

Para el Dominio C ($\alpha < 15,3^\circ$) se considera un tensor de esfuerzos preferentemente compresivo débil o débilmente extensional (tipo I y II).

El uso de JOINTS queda reducido a una toma de sucesivas decisiones por parte del usuario sobre la población de planos de diaclasado introducida: posible discriminación de poblaciones polifásicas para generar poblaciones monofásicas, posible modificación de los valores angulares que permiten la orientación del plano en el espacio, posibles elecciones de propuestas tensionales diferentes, posible suma de poblaciones similares, etc. Para ayudar al usuario en estos pasos sucesivos el programa proporciona herramientas de análisis parciales: histogramas de frecuencia, representaciones de las trazas ciclográficas de los planos, parámetros estadísticos descriptivos, diagramas de densidad, herramientas de filtrado de datos, etc. El resultado final ofrecido por este software es una propuesta tensorial tanto numérica como gráfica.

JOINTS proporciona conclusiones numéricas y gráficas sobre la base de la aplicación de parámetros estadísticos. Bajo ciertas condiciones considera también parámetros mecánicos de rotura de un volumen rocoso proporcionando conclusiones que, finalmente, habrán de sufrir las restricciones estadísticas. Por este motivo, cuanto mayor sea el número de registros conseguido (siempre dentro de unos límites lógicos de espacio y tiempo) mayor será la representatividad de los resultados potencialmente deducibles. El programa proporciona un método de comprobación de los resultados tensoriales (aplicable preferentemente para aquellas poblaciones enmarcadas

por JOINTS dentro del Dominio "B") basado en el Diagrama e/K' de De Vicente (1988). Este Diagrama permite una estimación tensorial directa fundamentada en la geometría y orientación de los planos de diaclasado. Esta estimación contrasta con la proporcionada por defecto por el programa JOINTS basada sólo en parámetros estadísticos. Además, sugiere información interesante sobre las subpoblaciones diferentes incluidas potencialmente dentro de la población total (posibles familias de curvas con aperturas de curvas similares) susceptibles de ser tratadas con posterioridad como subpoblaciones.

Aplicación real del programa

En el área de plataforma (Antepaís Bético) definible en el interior de la Península Ibérica con respecto al orógeno bético-rifense, se han considerado 57 estaciones distribuidas a lo largo del mismo y un total de 3254 planos de diaclasado registrados. En la figura 1 se muestra su distribución espacial y la edad de los materiales sobre los cuales se realizaron los registros. Esta metodología ha proporcionado distintas propuestas tensoriales para cada población de datos.

Estadísticamente, estas soluciones pueden resumirse (figura 3) en la existencia de dos propuestas tensoriales orientadas de manera semejante pero con permutaciones coaxiales en la disposición espacial de los ejes horizontales de esfuerzo máximo (E_y) y mínimo (E_x). Por este motivo, se han "filtrado" las conclusiones tensoriales, asignando a aquellas con un eje de esfuerzo horizontal orientado entre N90°-180°E la denominación de "MODA 1"; al resto se les ha englobado bajo el calificativo de "MODA 2". De este modo, se han construido mapas de trayectorias a partir de la orientación de los ejes de esfuerzo horizontales máximo y mínimo para ambos casos.

Más del 60% de las estaciones de registro han proporcionado una propuesta tensorial asignable a esta MODA 1: orientación promedio del valor de " E_y " para este tensor de esfuerzos preferente o

regional según N144°E (desv. estándar: 24,66°). El 40% de los registros restantes se acomoda a un tensor de esfuerzos (MODA 2) caracterizado por una compresión máxima horizontal media orientada según N38°E (desv. estándar: 23,58°). Así pues, ambas modas permiten concluir: (1) un grado de ortogonalidad apreciable entre los valores promedios que las definen: disposiciones coaxiales de los tres ejes de esfuerzo principales; (2) una homogeneidad relativa en las trayectorias definibles a partir de ambos estados tensoriales; (3) el predominio de compresiones horizontales máximas medias según norte-sur para el sector central del Antepaís Bético aquí considerado; (4) el predominio para el resto del antepaís de compresiones horizontales máximas y mínimas permutables NO-SE y NE-SO, a excepción de la zona más occidental donde parece intuirse una acomodación de las estructuras a accidentes de entidad regional orientados NNE-SSO; y (5) la existencia de una zona de refracción para las trayectorias de los esfuerzos en el interior de las provincias de Ciudad Real y Albacete, dentro de la cual suceden rotaciones dextrógiras y levógiras apreciables tanto de " E_y " como de " E_x ".

Tal y como sucede con cualquier otra metodología destinada al análisis de la fracturación en Geología, las conclusiones que proporcione el programa JOINTS para un conjunto de poblaciones de datos debieran ser contrastadas y complementadas con las obtenidas mediante la aplicación de otras técnicas de análisis mesoestructural en esa misma región (por ejemplo, el uso de técnicas relacionadas con el análisis poblacional de fallas). Igualmente se considera muy interesante la comparación de los resultados obtenidos por JOINTS con el análisis de la disposición espacial preferente de los principales rasgos geomorfológicos del sector considerado (relieve, red fluvial, macrolineaciones, etc.). Para el sector del Antepaís Bético analizado se han realizado tales comprobaciones (Rincón, 1999). En concreto, los resultados proporcionados a partir del análisis poblacional de

más de cuatro mil planos de falla estriados (utilizando métodos tradicionales de inversión de esfuerzo) proporcionan conclusiones tensoriales muy semejantes a las obtenidas a partir del diaclasado. De la misma manera, la génesis del diaclasado ha de relacionarse con el entorno geodinámico flexural neotectónico a favor del cual se han desarrollado y activado los planos de falla estriados (Vegas y Rincón, 1996). Los resultados obtenidos de la aplicación de un análisis morfotectónico exhaustivo de este mismo sector son consecuentes también con el análisis de las diaclasas.

Bibliografía

- Arlegui, L.E. (1996): *Tesis Doctoral*, Universidad de Zaragoza. 650 pp.
- Arlegui, L.E. y Simón, J.L. (1998): *Geogaceta*, 24. 27-31.
- Campos, R., Gumiel, P. y Pardillo, J. (1995): *Bol. Geol. Min.*, 106 (6). 503-516.
- Cortés, A.L. y Maestro, A. (1997): *Rev. Soc. Geol. España*, 10 (1-2). 183-196.
- De Vicente, G. (1988). *Tesis Doctoral*, U.C.M.; 317 pp.
- Hancock, P.L. y Engelder, T. (1989): *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101: 1197-1208.
- Maestro, A., Liesa, C.L., Simón, J.L., Casas, M., Arlegui, E.L. (1997): *Rev. Soc. Geol. España*, 10 (1-2): 3-12.
- Merino, A., Martínez-Torres, L.M., Eguluz, L. y Lago, M. (1996): *Est. Museo Ciencias Naturales de Álava*: 61-71.
- Rincón, P.J. (1995): *Tesis de Licenciatura*, U.C.M.; 230 pp.
- Rincón, P.J. (1999): *Tesis Doctoral*, U.C.M.; 624 pp.
- Rives, T. y Petit, J.P. (1990) *Mechanics of jointed and faulted rocks*: 205-211.
- Scheidegger, A.E. (1980) *Rock mechanics*. Suplemento 9: 109-124.
- Simón, J.L. (1989): *J. Struct. Geol.*, 11 (3): 285-2
- Twiss, R.J. y Moores, E.M. (1992): *Structural Geology*; Ed. Freeman and Comp., New York. 532 pp.
- Vegas, R. y Rincón, P.J. (1996): *Geogaceta*, 19: 31-34.