

Análisis de las características geométricas y desarrollo temporal de un sistema de diaclasas en las rocas triásicas del límite Cordillera Ibérica - Sistema Central.

Geometry and temporal development of a joint system in the triassic rocks of the Iberian Range-Spanish Central System boundary

A. Sevillano (*), G.Gutiérrez-Alonso (*) y M.R. Gross (**)

(*)Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca, España. (e-mail: gabi@usal.es)

(**)Department of Geology, Florida International University, Miami, Florida 33199 U.S.A

ABSTRACT

The mesozoic and tertiary rocks at the Iberian Range-Spanish Central System boundary in Guadalajara (Spain) depict a very important development of systematic joint sets. This study is focused on a detailed and systematic analysis of the orientations and lengths of the joints, and the relationship between both geometric parameters in two well exposed outcrops called Atance 1 and Atance 2. Both outcrops are located on two nearly horizontal beds of Muschelkalk dolomites and have been mapped in great detail (1:5 scale). The geometric parameters (orientation and length) analysis allows the identification of four sets of systematic joints. The relative timing of joints development has been studied through the analysis of the abutting relationship of the different data sets.

Keywords: systematic joints, set, orientation, length, weighted length, abutting relationship.

Geogaceta, 29 (2001), 127-130

ISSN: 0213683X

Introducción

Las diaclasas son consideradas las estructuras frágiles más comunes y abundantes de la corteza superior (Engelder, 1987; Pollard y Aydin, 1988), de modo que tales fracturas, y más concretamente las diaclasas sistemáticas, han sido objeto de importantes y detallados estudios en los últimos años.

El desarrollo de estas fracturas presenta una clara relación con el campo de esfuerzos, tanto locales como remotos, que actúa en el momento de su propagación (Dyer, 1988; Engelder J. Geiser, 1980; Olson y Pollard, 1989), lo que hace que sean una buena herramienta para el estudio del campo de esfuerzos que actuó en una determinada región. En otras ocasiones, su desarrollo está directamente relacionado con la presencia de pliegues y fallas, tanto a escala local como a escala regional (Hancock, 1985; Fischer y Wilkerson, 2000). Desde ambos puntos de vista, las diaclasas proporcionan una completa información a cerca de los episodios tectónicos acaecidos en una región en un momento dado.

El estudio que aquí se presenta, aprovecha la excelente calidad de afloramiento de un sistema de diaclasas sistemáticas cuyo patrón es, *a priori*, complejo y de difícil interpretación. Tales características han permitido desarrollar un nuevo método que

analiza la secuencia de desarrollo temporal del sistema de diaclasas basándose en el análisis de las relaciones geométricas que presentan las diaclasas de las distintas familias entre sí.

Contexto geológico

El trabajo de campo en el que se basa este estudio se llevó a cabo en una serie de afloramientos localizados en el NE de la península Ibérica (Fig. 1a), en un área situada en el límite entre las cuencas terciarias del Duero y del Tajo, en una localidad al norte de la provincia de Guadalajara denominada El Atance.

Geológicamente, la zona queda enclavada en el límite entre el borde oriental del Sistema Central Español y la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. En esta región aflora un basamento deformado y metamorfizado durante la orogenia Varisca sobre el que se sitúan discordantemente los materiales pérmicos, mesozoicos y terciarios que forman la cobertera alpina.

Las estructuras que se desarrollan en la región estudiada son el resultado de varias etapas de actividad tectónica tanto compresivas como distensivas. Así, las fallas existentes están relacionadas con la reactivación de antiguas fallas del zócalo. Además de las fallas, se producen pliegues relacionados

fundamentalmente con dos direcciones principales de acortamiento: Guadarrama (ENE-OSO o NE-SO) e Ibérica (NO-SE). Además de las estructuras compresivas descritas, se reconocen abundantes macro y microestructuras, sobre todo diaclasas, que en la mayoría de los casos se desarrollan como diaclasas sistemáticas y que han sido objeto de este estudio.

Descripción y análisis detallado de los afloramientos Atance 1 y 2

El estudio realizado está basado en el análisis sistemático y detallado de una serie de familias de diaclasas sistemáticas que se desarrollan a pequeña escala en dos afloramientos de extraordinaria calidad denominados Atance 1 y Atance 2, a partir de los cuales fue posible una recogida sistemática de datos para realizar un análisis completo de las familias de diaclasas existentes.

Dicho análisis tiene como objetivos establecer, en primer término, una serie de relaciones geométricas, determinando detalladamente la orientación y la longitud de las diaclasas en las distintas familias, así como establecer las relaciones temporales entre las distintas familias de diaclasas sistemáticas.

Las familias de diaclasas objeto de nuestro estudio se desarrollan en dos capas próximas entre sí, pertenecientes a las dolo-

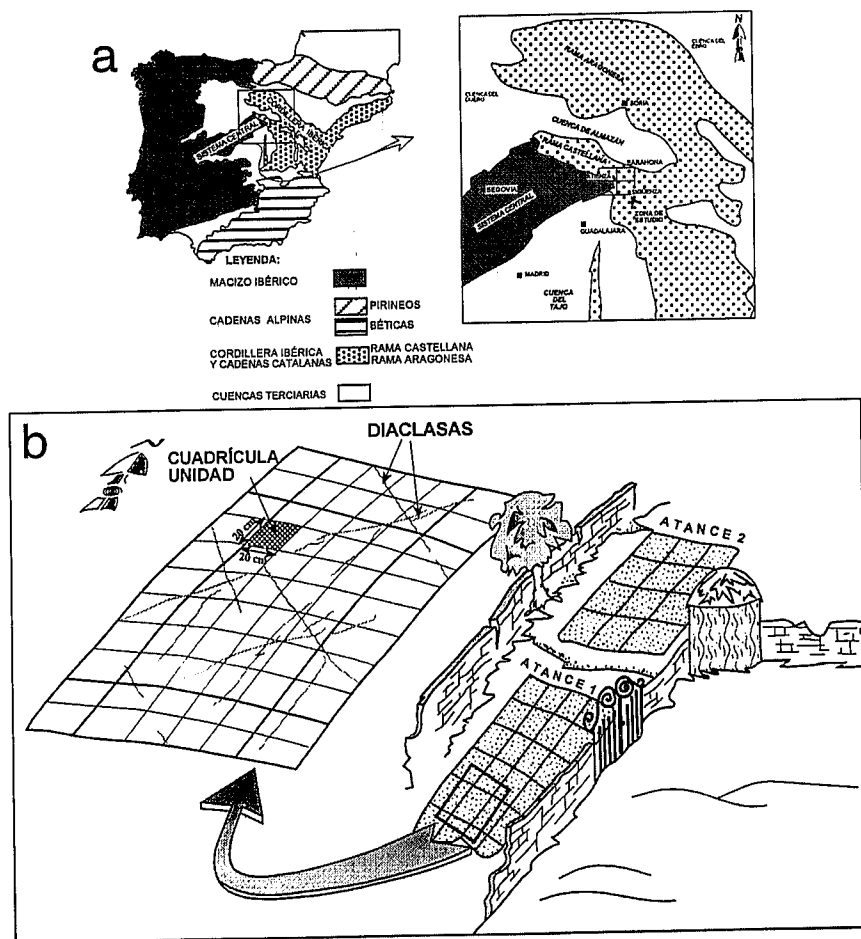


Fig. 1.- a) Localización de la zona de estudio en el contexto geológico de la Península Ibérica. b) Esquema de la situación de los afloramientos Atance 1 y Atance 2. En la panorámica se muestra la metodología empleada en la cartografía de detalle de las familias de diaclasas observadas en ambos afloramientos.

Fig. 1.- a) Study area within the Iberia tectonic framework. b) Sketch of the location of the Atance 1 and 2 outcrops showing the methodology used for the detailed mapping of both outcrops.

más del Muschelkalk (Triásico Inferior). Ambas capas se encuentran en el flanco noroeste de un pliegue que afecta a los materiales triásicos.

El afloramiento denominado ATANCE 1 tiene una extensión aproximada de 14,2 m². La capa tiene en este punto una dirección N275°E y un buzamiento de sólo 10° N. El segundo afloramiento, ATANCE 2, tiene una extensión de 14,7 m² y una orientación similar (Fig. 1b)

La toma de datos y el análisis sistemático de los mismos se realizaron a partir de una cartografía detallada (escala 1:5) de las diaclasas existentes en los dos afloramientos reseñados (Fig. 1b). Las cartografías resultantes (Fig. 2a y b) han sido la base para el posterior análisis de los datos. Estos datos hacen referencia a las características geométricas de las distintas familias de diaclasas, de modo que se midieron parámetros tales como su orientación y longitud. Además, se analizaron las trayectorias y las relaciones geométricas entre diaclasas de distintas familias, entendiendo estas últimas, como el modo en que chocan o terminan unas diaclasas contra otras, lo cual indica a

su vez, las relaciones temporales entre las distintas familias.

Estudio de las características geométricas: orientación y longitud

En total se censaron 1431 trazas de diaclasas en el Atance 1 y 1075 en el Atance 2, correspondientes tanto a las trazas del plano principal de las diaclasas, como a las fracturas de borde (*twist hackles* y *kinks*) que presentan algunas de las familias estudiadas. De este modo, se midieron las orientaciones de todas las diaclasas observadas en ambos afloramientos (1800 datos de orientaciones en el Atance 1 y 1309 datos en el Atance 2). Las orientaciones de todas las diaclasas medidas en cada uno de los afloramientos han sido proyectadas en los diagramas en rosa que se muestran en la figura 3a. Estos resultados no permiten discriminar con claridad cuántas familias de diaclasas sistemáticas existen, ni cuáles son las orientaciones preferentes de cada una de ellas, de modo que sólo podría decirse que existe una familia con una orientación preferente aproximadamente N155°E y que el resto de las diaclasas no presentan máximos bien definidos que permitan discriminar distintas fami-

lias, existiendo una gran dispersión de orientaciones en torno a los valores comprendidos entre N35°E y N°80-90°E.

Sin embargo, la observación de la cartografía de detalle (Fig. 2a y b) evidencian la existencia de, al menos tres familias claramente diferenciadas en función de sus orientaciones preferentes. Así, podría decirse que existe una primera familia con una orientación N35°E (familia 1) aproximadamente, otra segunda familia orientada en torno a N60°-80°E (familia 2-3) y finalmente una tercera familia que presentaría una orientación aproximada N150°-160°E (familia 4).

Teniendo en cuenta las relaciones geométricas (temporales) entre diaclasas de distintas familias, e incluso la morfología de sus trayectorias (continuidad o discontinuidad en su traza, trayectorias rectas, curvas o más o menos irregulares, etc.), se llegaron a diferenciar dos familias distintas, a partir de la que antes citábamos conjuntamente como "familia 2-3"; a ellas haremos referencia a partir de este momento como familia 2 y familia 3.

Otro factor importante es la relación que existe entre la orientación y la longitud de las diaclasas en las distintas familias, factor que nos ha permitido interpretar con mayor rigor los diagramas en rosa iniciales (Fig. 3a) y concluir cuántas familias se forman y cuáles son sus orientaciones preferentes. Según esto, la observación detallada de las cartografías (Fig. 2a y b) muestra que en las familias finalmente denominadas 2 y 3, las diaclasas presentan en sus extremos fracturas de borde (*twist hackles* y *kinks*) cuya orientación se aparta de la orientación preferente que presenta la familia a la que pertenecen. Dichas fracturas tienen una longitud mucho menor que la del plano principal de diaclasa aunque su abundancia es, sin embargo, mucho mayor. Esto nos hace pensar que en los diagramas en rosa (Fig. 3a), algunos máximos podrían corresponder a dichas fracturas de borde (*twist hackles* y *kinks*), que a pesar de su mayor abundancia, no representan la orientación preferente de la familia a la que pertenecen, sesgando así, los datos de las orientaciones reales de cada familia. Además, debido a los mecanismos de propagación de las diaclasas, sus trayectorias se curvan adoptando una geometría *curving-parallel* (Dyer, 1988), es decir, una orientación parecida a la de la familia respecto a la que se disponen más o menos paralelas, de modo que una vez más estas orientaciones, sólo representarían orientaciones intermedias entre dos familias distintas. Hecho que ha sido observado sobre todo en el caso de la familia 2.

Con el fin de analizar y evitar las posibles fuentes de error, se proyectaron para cada uno de los afloramientos, las orientaciones de todas las diaclasas ponderadas a su longitud. Este método pretende otorgar una mayor influencia a aquellas orientaciones correspondientes a

diaclasas de longitudes significativamente grandes y representativas de la familia a la que pertenecen, minimizando así el efecto producido por las fracturas de borde. Los resultados obtenidos, representados en la figura 3b, nos permiten observar claramente la existencia de una serie de máximos correspondientes a la orientación preferente de cada una de las familias. Según esto, podemos decir que además de la familia 4 discriminada desde un principio, existen en ambos afloramientos, otras tres familias de diaclasas sistemáticas con distintas orientaciones. La familia 1 se distingue ahora del resto de familias con una orientación N35°E. La familia 2 se sitúa en el Atance 1 en torno a N85°E, mientras que en el Atance 2 su orientación es N85°-90°E. La familia 3 muestra también esta diferencia en su orientación de un afloramiento a otro, siendo en el Atance 1 N60°E y en el Atance 2, N70°E (Fig. 3b).

La dispersión de orientaciones de las familias 2 y 3 cuando no se consideran las longitudes de las diaclasas, se puede explicar debido a la abundancia de fracturas de borde (*twist-hackles*) y debido a la naturaleza de sus terminaciones, de tipo *curving parallel* (Dyer, 1988).

Tras establecer cuántas son las familias que se desarrollan en ambos afloramientos y cuáles sus orientaciones preferentes, se han podido reagrupar todas las diaclasas en las cartografías de detalle con mayor precisión, identificando a qué familia pertenece cada una de ellas para establecer sus relaciones temporales (Fig. 2a y b).

Relaciones geométricas entre distintas familias

Las relaciones geométricas existentes entre diaclasas de distintas familias nos permiten establecer sus relaciones temporales, es decir, cuáles son sus edades relativas y finalmente, cómo sería la secuencia de desarrollo temporal bajo la que se han generado estas familias de diaclasas sistemáticas.

Para ello, se llevó a cabo en primer lugar, un conteo de para ello, se llevó en primer, un conteo de "choques" o terminaciones entre diaclasas de cada una de las familias con las restantes; todo esto basándonos e el hecho de que las diaclasas más jóvenes "chocan" o terminan contra diaclasas previas, siempre y cuando la diaclasa previa no esté cementada y actúe como una superficie libre a través de la cual no pueden transmitirse los esfuerzos (Wheeler y Holland, 1981), impidiendo así que la diaclasa que se desarrolla posteriormente la atraviese y continúe su propagación. En este caso, la segunda diaclasa puede curvarse (Kulander *et al*, 1979) disponiéndose paralela o perpendicular a la diaclasa previa (Dyer, 1983; Dyer, 1988), o adoptando cualquiera de las

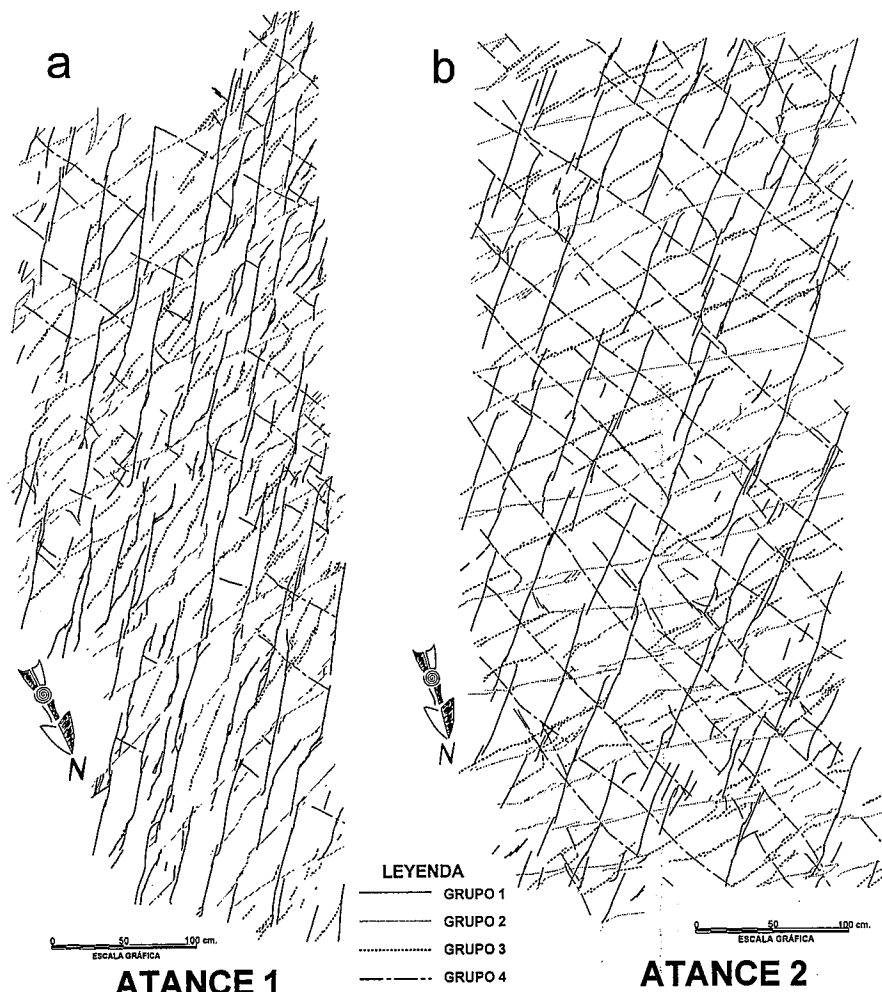


Fig. 2.- Cartografía detallada de las todas las diaclasas presentes en los afloramientos Atance 1 (2a) y Atance 2 (2b).

Fig. 2.- Detailed maps of the studied outcrops (Atance 1 and 2)

geometrías de choque descritas en la bibliografía (Bai y Gross, 1999). En caso de que la diaclasa previa estuviera cerrada, la diaclasa posterior la atraviesa, de manera que no es posible establecer la secuencia de edades relativas únicamente a partir de las relaciones de choque. Los resultados obtenidos a partir del conteo de choques se han representado en los diagramas de barras de las figuras 4 a y b.

Previamente al análisis de los diagramas de barras mencionados, es necesario reseñar que algunos de los "choques" no responden a la secuencia temporal establecida, ya que puede suceder que la terminación de una diaclasa previa sea el defecto mecánico en el que se nuclea una nueva diaclasa (Engelder, 1987; Pollard y Aydin, 1988), de modo que aparentemente puede darse el caso de que existan diaclasas antiguas que "choquen" contra diaclasas más modernas, en cuyo caso se trata de choques aparentes. Este hecho sin embargo, es mucho menos probable que las relaciones que se han descrito previamente, siendo éstas las más comunes.

En el diagrama de barras correspondiente al Atance 1 (Fig. 4a) vemos que las familias 2, 3 y 4 chocan con la familia 1 el mayor número de veces, de modo que ésta familia ya se había formado cuando las diaclasas de las familias restantes estaban creciendo. Por tanto, podremos afirmar que la familia 1 fue la primera en formarse. Por el contrario, las familias 1, 2 y 3 chocan con la familia 4 el menor número de veces, lo cual indica que ésta fue la última familia que se originó. Tenemos que tener presente además, que la familia 1 no se había cementado aún cuando las familias 2 y 3 se estaban formando, lo que permitió los choques y evito, por tanto, que las diaclasas de ambas familias (2 y 3) atravesaran a las de la familia 1. Si observamos ahora las relaciones geométricas entre las familias 2 y 3, podemos decir que la familia 2 se formó antes que la familia 3. Así, teniendo en cuenta todos los resultados, podemos concluir que la secuencia temporal en el desarrollo de las familias de diaclasas sistemáticas para el Atance 1 es la siguiente:

Familia 1 · Familia 2 · Familia 3 · Familia 4
El análisis para el Atance 2 (Fig. 4b) nos

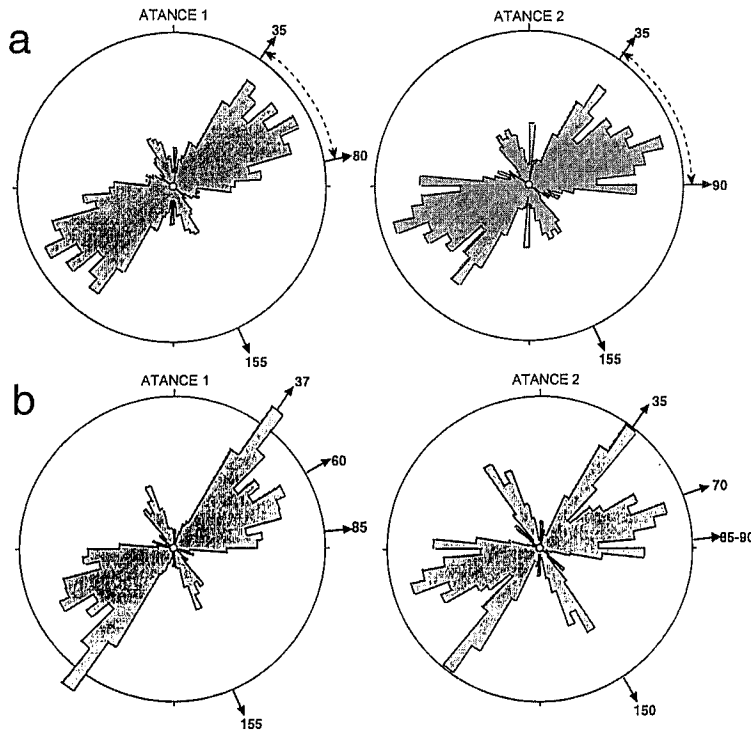


Fig. 3.- a) Diagramas en rosa que representan las orientaciones de todas las diaclasas medidas en el Atance 1 y 2. Radio del círculo=10%. b) Diagramas en rosa que representan las orientaciones ponderadas a la longitud de todas las diaclasas medidas.

Fig. 3.- a) Rose diagrams representing the orientation of the joints measured in Atance 1 and 2. b) Same diagrams with the orientations weighted to the joint length. (Circle radius=10 %)

proporciona los mismos resultados que en el caso anterior, siendo los razonamientos exactamente iguales y por ello, llegando a las mismas conclusiones para las familias 2 y 3. Sin embargo en este afloramiento, aunque hay un ligero predominio de los choques de la familia 2 contra la familia 1, se puede afirmar que las relaciones geométricas entre ambas familias son prácticamente iguales, es decir, que la familia 1 choca con la familia 2 y a la inversa, igual número de veces. Esto parece indicar cierta simultaneidad en el desarrollo de ambas familias, que se generan de forma simultánea y alternativa comenzando el desarrollo por la familia 1. Tal interpretación es coherente con los resultados obtenidos para el Atance 1, ya que en éste primer afloramiento, aunque las relaciones temporales indican que la familia 1 se formó primero, la diferencia entre los choques de las dos familias entre sí no es excesivamente grande, de modo que su desarrollo pudo llegar a solaparse en algún momento, tal y como ocurre en el Atance 2.

Por último, es importante resaltar que en este afloramiento las relaciones temporales no parecen tan claras para la familia 4, ya que en este caso no todas las familias chocan con ella el menor número de veces. Sin embargo, cuando observamos la cartografía (Fig. 2b), parece evidente el hecho de que la familia 4 se desarrolla atravesando las diaclasas

de todas las demás familias, sin sufrir apenas variaciones en la dirección de sus trayectorias, lo cual se debe a que las diaclasas del resto de las familias estaban cerradas.

Conclusiones

El análisis de las características geométricas (orientación y longitud) de las diaclasas existentes en los afloramientos Atance 1 y Atance 2, nos ha permitido identificar claramente, a partir de un sistema complejo, la existencia de cuatro familias de diaclasas sistemáticas con distintas orientaciones preferentes.

Por otro lado, un nuevo método basado en el análisis de las relaciones geométricas que presentan las diaclasas de las distintas familias entre sí, nos ha permitido establecer la secuencia temporal de desarrollo de las cuatro familias, según la cual, las familia 1 y 2 se formaron simultáneamente y de forma alterna, comenzando su desarrollo por la familia 1, seguidas de la familia 3 y finalmente la familia 4, que se desarrolla cuando el resto de familias estaban cerradas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto PB96-1452-C03-02 «Transferencia de masas en la corteza terrestre. Influencia de los factores tectónicos»

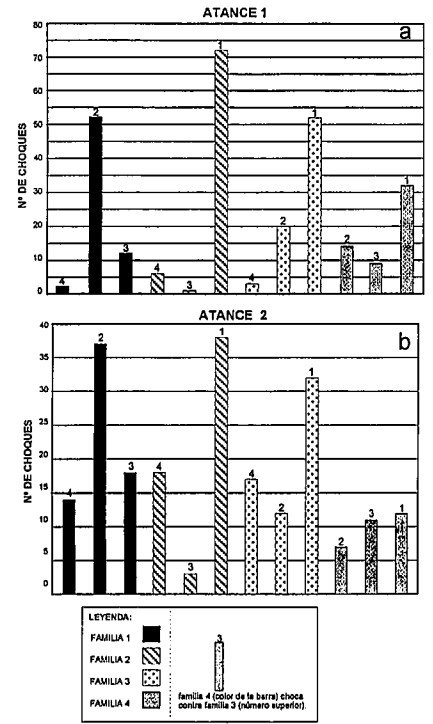


Fig. 4.- Diagramas de barras que muestran las relaciones geométricas (Número de choques o terminaciones) que existen entre las distintas familias en el Atance 1 y Atance 2.

Fig. 4.- Bar plots showing the abutting relationships between the different joint sets in Atance 1 and 2.

Referencias

Bai, T. y Gross M.R. (1999): *Jour. Geophys. Res.*, 104 (B1), 1163-1177.
 Dyer, R. (1983): *Tesis doctoral no publicada.* Stanford University.
 Dyer, R. (1988): *Jour. Struct. Geol.*, 10 (7), 685-699.
 Engelder, T. y Geiser, P.A. (1980): *Jour. Geophys. Res.*, 85, 6319-6341.
 Engelder, T. (1987): *Fracture Mechanics of Rock.* Academic Press, London.
 Fischer, M.P y Wilkerson, M.S. (2000): *Geology.*, 28 (1), 15-18.
 Hancock, P.L. (1985): *Jour. Struct. Geol.*, 7, 3/4, 437-457.
 Kulander, B.R., Barton, C.C., y Dean, S.L. (1979). *The application of fractography to core and outcrop fracture investigations.* U.S. Department of Energy Morgantown Energy Technology Center Report, METC/SP-79/3.
 Olson, J. y Pollard, D.D. (1989): *Geology.*, 17, 345-348.
 Pollard, D.D. y Aydin A. (1988): *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 100, 1181-1204.
 Wheeler, R.L. y Holland, S.M. (1981): *Proceedings of the third International Conference on basement tectonics.* O'Leary, D.W. & Earle, J-L. 393-404.