Estructuras elípticas en el plutón de la Sierra del Francés: estudio de su geometría e hipótesis sobre su origen convectivo

Elliptical structures in the Sierra del Francés pluton: study of their morphology and dicussion on their origin by convective flow

C. Pérez-Soba [1], C. Villaseca [1] y A. Rivas [2]

[1] Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad Ciencias Geológicas, Universidad Complutense. 28040 Madrid (España)
[2] Departamento de Geodinámica. Facultad Ciencias Geológicas, Universidad Complutense. 28040 Madrid (España)

ABSTRACT

Direct evidences of magmatic convective flow in granitic plutons are scarce. The possible complex history of magma cooling in plutons can delete partially or completely this registration. We describe a complex elliptical structure in a porphyritic monzogranite and the granitic fabric around this. We distinguish three zones based on the study of their morphology and internal structures (cross-cutting layering, curved schlierens, lobulated mafic-leucocratic laminaes). We propose a model of vertical flow pipes with motion of magma generation point. Three possible convective pulses build the elliptical structure. This model is similar those proposed in the literature for snail and ladder dike structures. Fabric defined by K-feldspars megacrysts in the immediately surrounding monzogranite is basically linear to 355-010º.

Key words: *magmatic structures, granite, convection, Sierra de Guadarrama, Iberian Hercynian Belt*

Geogaceta, 32 (2002), 7-10
ISSN:0213683X

Introducción

Los macizos graníticos pueden presentar diferente grado de estructuración. Los procesos deformativos pueden generarse en etapas tempranas de segregación, durante la acumulación en el emplazamiento, en el crecimiento plutónico, en etapas tardías de la cristalización de la cámara y por fenómenos tectónicos sincrónicos o posteriores. Las etapas deformativas más incisivas o tardías en la historia del plutón son las de mayor posibilidades de supervivencia, siendo obliteradas las deformaciones más tempranas. La convección es un fenómeno magmático que tiene sus mayores posibilidades de actuación en los primeros momentos del sistema plutónico. Cuanto más próximo a las condiciones *liquidus* del magma menor es su viscosidad y mayor la posibilidad de desarrollo de flujos dinámicos ígneos. Según progresa la cristalización, la posibilidad de convección se restringe seriamente, aunque la presencia de objetos sólidos en suspensión permite su registro. No obstante, suelen ser raras las estructuras que reflejen fenómenos convectivos ígneos por el largo tiempo de evolución magmática y la probabilidad de borrado de éstas por deformaciones sucesivas. El grupo de estructuras magmáticas en granitoides interpretadas como de origen convectivo suelen ser: *schlierens*, estratificaciones o bandeados curvados (Barrière, 1981), estratificaciones cruzadas o truncadas con/sin granoclasificación (Barrière, 1981), formas elípticas (o en medusa) (Pitcher y Berger, 1972; Marre, 1982; Weinberg *et al.*, 2001), remolinos (Cobbing, 2000), diques-escala o con peldaños (Reid *et al.*, 1993), o formas más complejas en caracol (Weinberg *et al.*, 2001), y cilíndricas o tubulares (Weinberg *et al.*, 2001). No todas las estratificaciones, bandeados o *schlierens* que aparecen en granitos son interpretadas como fenómenos de convección o de flujo dinámico; algunos ejemplos son interpretados como debidos a modelos estáticos de sedimentación de cristales (p.e. Clarke y Clarke, 1998) o a separación de fases fluidas (p.e. Stephenson, 1990).

En el plutón tardihercínico de la Sierra del Francés (Sierra de Guadarrama) se han encontrado estructuras elípticas diversas que parecen indicar fenómenos de flujo durante su formación. En este trabajo se describe en detalle, por vez primera en el conjunto de plutones del cinturón Hercínico Ibérico, una de estas estructuras. La discusión del origen de las mismas se encuadra en la problemática actual de vestigios claros que indiquen la existencia de procesos convectivos magmáticos en los cuerpos plutónicos graníticos.

Encuadre geológico

El plutón de la Sierra del Francés está compuesto por diversas facies de monzogranitos porfídicos de grano medio (ITGE, 1990). La roca es un granito-granodiorita biotítico, con una población heterogéneamente distribuida de megacristales de feldespato potásico y cantidades accesorias de ilmenita, apatito, circón, allanita y monacita (ITGE, 1990; Pérez-Soba, 1991). Es frecuente la presencia de enclaves microgranulares máficos dispersos en la masa plutónica, siendo los enclaves xenolíticos más abundantes hacia el contacto con el encajante metamórfico. Geoquímicamente el plutón es de carácter peralumínico, aunque no forma parte clara de los granitoides claramente cordieríticos del sector, por lo que se les ha asignado un carácter intermedio o transicional entre las dos grandes series graníticas del Sistema Central Español (Villaseca y Herreros, 2000). Los datos geocronológicos Rb-Sr dan una isocrona de 315 Ma (Pérez-Soba, 1991), que indica un carácter tardi-hercínico del plutón, posterior a las principales etapas tectónicas regionales.

El estudio del emplazamiento de plutones lo facilita la presencia de objetos sólidos y semisólidos en el fundido (enclaves, megacristales...). En este plutón se cita la

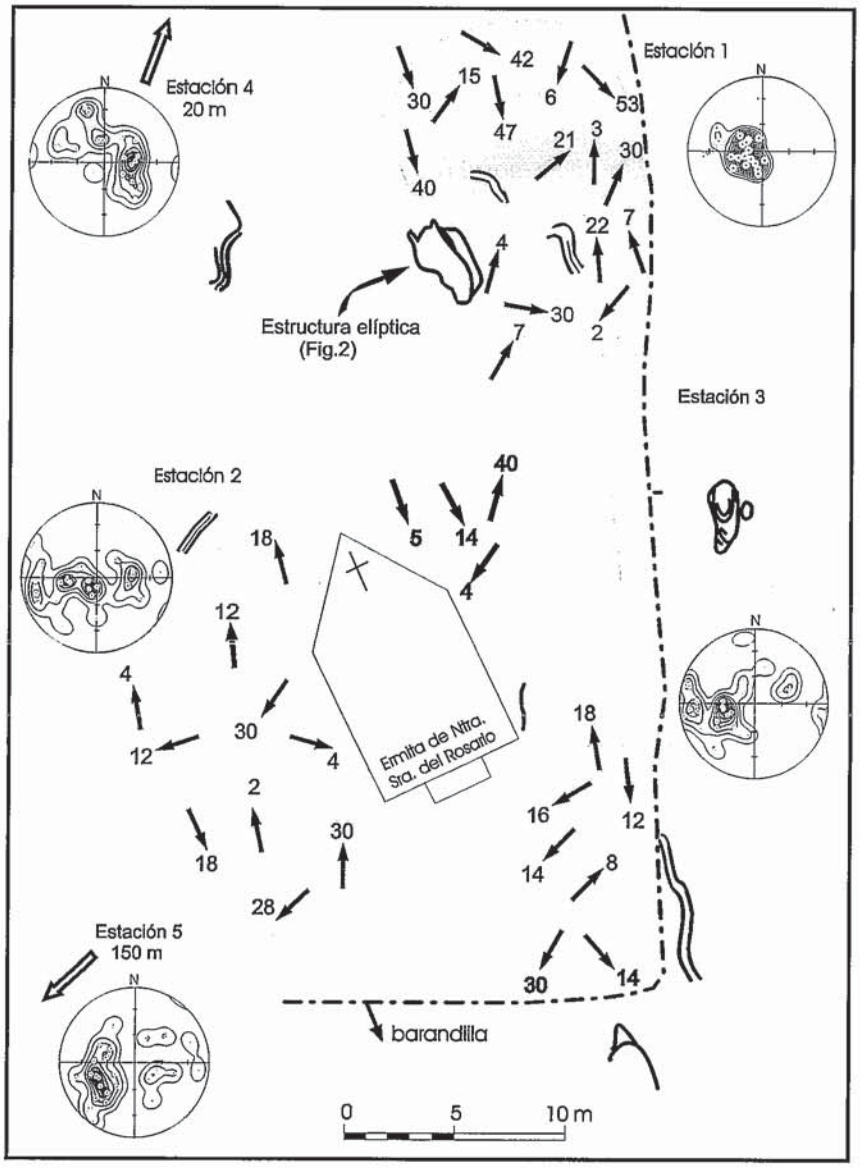

Fig. 1.- Esquema del sector de afloramiento de las estructuras elípticas (orientado N-S). Los estereogramas corresponden a la proyección de los polos de las caras (010) de los megacristales de feldespato potásico en cada una de las cinco estaciones. Las flechas representan la orientación del eje largo de la cara (010). Las líneas de trazo grueso son esquemas de *schlierens* del entorno de la estructura estudiada.

Fig. 1.- Outcrop sketch of elliptical structures (N-S oriented). The stereonets show poles to (010) of K-feldspar crystals in each of the five domains. Arrows represent the plunge of (010) side of the crystal. Thicker lines are schlieren around the studied structure.

presencia de bandeados, *schlierens*, sectores con acumulación de megacristales, bandas ricas en enclaves, disposiciones planares y planolineares de los fenocristales de feldespato potásico, variaciones en la fábrica y clasificación de cristales hacia el encajante, disrupción de fragmentos máficos ricos en megacristales, estratificaciones gradadas, etc. En el sector oriental del plutón se ha descrito una foliación ígnea con orientación norteada y con buzamientos elevados al E o prácticamente verticales (ITGE, 1990).

El sector estudiado, junto a la Ermita de Ntra. Sra. del Rosario en Soto del Real (coordenadas UTM, X: 433.750, Y: 4.513.850), presenta una estructura elíptica compleja definida por un conjunto de *schlierens* que permite el estudio del flujo magmático durante los momentos tempranos de acumulación del magma granítico.

Descripción de la estructura elíptica y fábrica granítica limítrofe

La topografía del afloramiento es prácticamente horizontal y en ella la estructura elíptica tiene unas dimensiones de 4,6 m por 2,5 m, aunque se observan retazos asimilables a esta estructura a un par de metros más allá de la misma. El eje mayor de la estructura está orientado N145E (Fig. 1).

Como tal estructura definida por *schlierens*, está formada por una sucesión de láminas melanocráticas (ricas en biotita) y leucocráticas (ricas en cuarzo y feldespatos) que pueden presentar contactos netos o gradacionales. Paralelas a estas láminas se disponen frecuentes megacristales de feldespato potásico, algunos enclaves máficos redondeados y cuerpos centimétricos máficos de estructura laminar.

En esta estructura se pueden distinguir tres zonas: zona-I, que abarca el conjunto de estructuras del margen oriental; zona-II, que agrupa las dos estructuras septentrionales y zona-III, que constituye la parte central elíptica (Fig.2).

La zona I está formada por varios cuerpos laminares adyacentes entre sí y con disposición longitudinal respecto al eje largo del conjunto. Algunos de éstos muestra una laminación cruzada bien definida, con contactos asintóticos hacia el flanco oriental. Las laminaciones muestran una convergencia variable, tanto hacia el N como hacia el S (Fig. 2). La zona I acaba en una banda con acumulación de megacristales, subparalelos a los bordes de la misma, limítrofe con el monzogranito más homogéneo del sector (Fig.3A). Las orientaciones medidas indican un cambio en el sentido y cuantía del buzamiento de norte a sur de esta estructura: en la parte más septentrional tienen un buzamiento de unos 30-35° hacia el S, en su parte central es de unos 85° hacia el E, y cambia a 40° hacia el oeste en los retazos más meridionales del conjunto. Las bandas más próximas a la estructura central están atravesadas, y una de ellas desplazada, por vénulas irregulares graníticas en dirección subperpendicular a la laminación. El granito de estas vénulas es de aspecto similar al que constituye el cuerpo central, no existiendo criterios claros de si cortan también al cuerpo central o provienen de él.

La zona II se compone de dos estructuras aisladas entre sí (a y b del esquema insertado de la Fig. 2) y muestran características semejantes en dimensiones, orientación de su eje y estructuración interna de las mismas, por lo que parece plausible un cierto grado de contemporaneidad entre ambas (Figs. 2, 3B y 3C). El bandeado composicional presenta en planta una disposición curvada, con *schlierens* cóncavos hacia el sur. Los *schlierens* son sucesivamente más jóvenes hacia el sur y presentan mayor radio de curvatura. Ambas estructuras incluyen megacristales de feldespato potásico y enclaves máficos. Las medidas realizadas en *schlierens* y megacristales dan

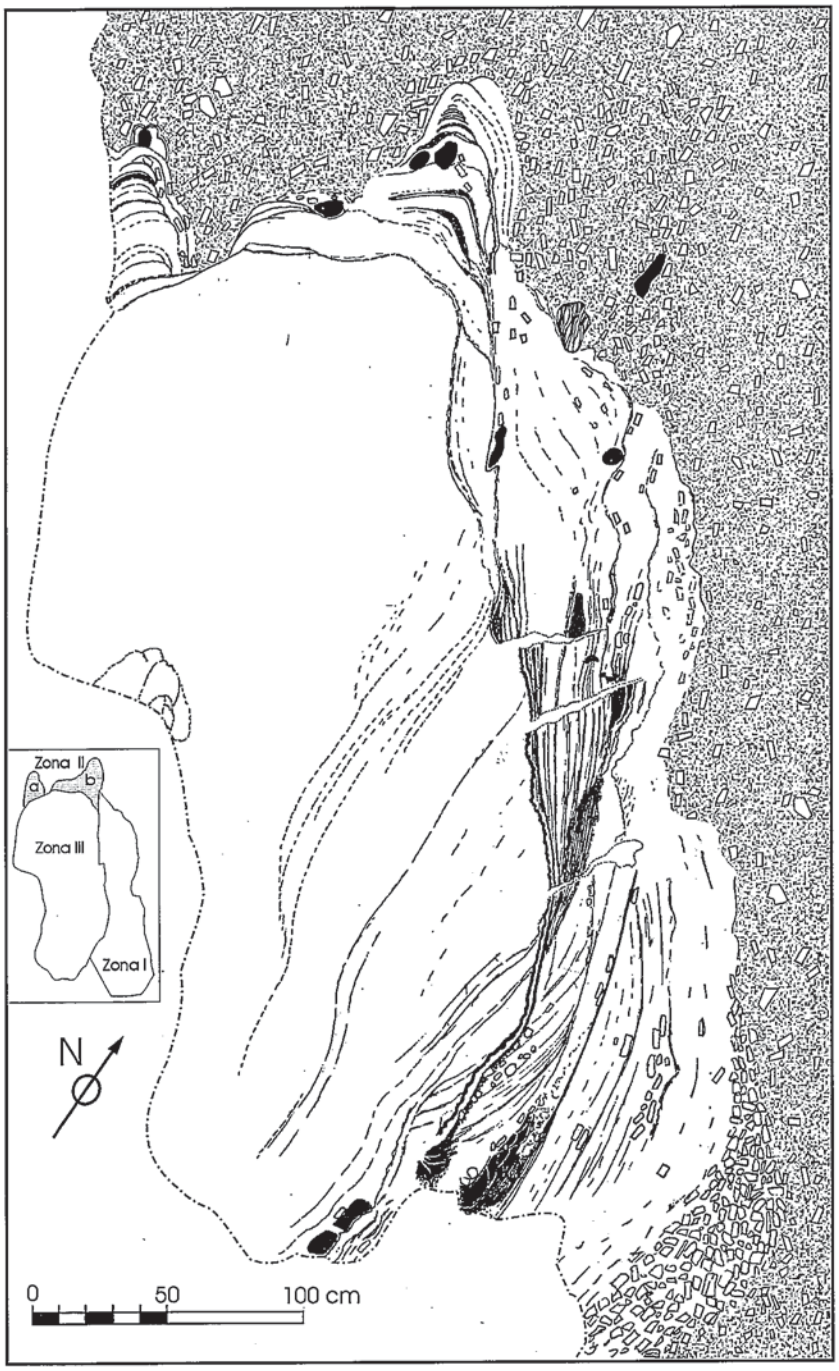

Fig. 2.- Estructura elíptica. La trama gris con megacristales corresponde al monzogranito porfídico que limita la estructura. Se incluye un pequeño esquema con las sucesivas zonas, definidas en el texto.

Fig. 2.- Elliptical structure. Wall porphiric monzogranite is represented with grey pattern with phenocrysts. A sketch with the zones defined in text is included.

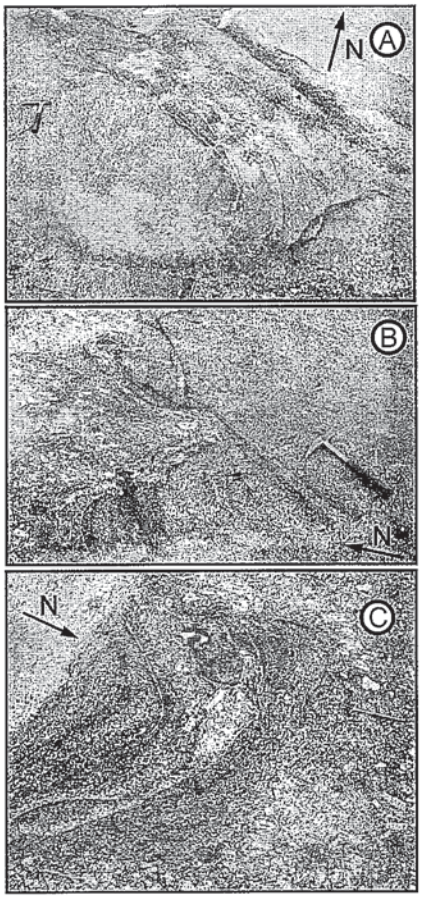

Fig. 3.- (A) Detalle del sector suroriental de las zonas I y III. En la zona I (mitad derecha) se observa la superposición de bandas con abundante laminación cruzada y el nivel de acumulado de fenocristales. La zona I destaca por la abundancia de *schlierens*. (B) Zona IIa y su contacto con la zona III. (C) Zona IIb.

Fig. 3.- (A) Southeastern sector of zones I (right) and III (left). View of layers with cross bedding and K-feldspar aggregates of zone I. Note the scarcity of schlierens in zone III. (B) Contact between zones IIa and III. (C) Detail of zone IIb.

buzamientos entre 54° y 40°, con sentidos hacia el centro de cada bandeado. Estos dos conjuntos se asemejan a estructuras intermedias entre dique-escala (*ladder dike*) y estructuras en caracol (*snail*) de Weinberg *et al.*(2001).

La zona III, que constituye aproximadamente el 80% de toda la estructura elíptica, está delimitada por una fina banda biotítica con tránsito gradual al granito interior, y adyacente a la banda cuarzo-feldespática que constituye el límite externo de la zona I. Estas dos bandas describen una estructura lobulada en la que la banda melanocrática presenta siempre una forma globular con respecto al nivel leucocrático. El granito de la parte central contrasta en sus características mesoscópicas con el del resto de la estructura elíptica y con el monzogranito porfídico. Es un granito más leucocrático, sin fenocristales (equigranular) y sin enclaves. Las medidas de la orientación de las paredes de este cuerpo central dan en su límite NO buzamientos entre 47° y 65° hacia el centro del mismo, y verticalizadas en el lateral oriental. Además, a diferencia de las dos zonas anteriormente descritas, son escasos los bandeados biotíticos. Sólo aparece en su mitad oriental una débil laminación paralela, en ocasiones suavemente ondulada, truncada hacia el borde limítrofe con la zona I (Fig. 3A). Igualmente es visible una cierta estructura elíptica en su zona central, peor definida por encontrarse en el límite del afloramiento.

Próximas a esta compleja estructura elíptica aparecen otras estructuras similares, más sencillas (Fig. 1). Todas ellas se alinean según direcciones norteadas y presentan relaciones de ejes muy parecidas entre sí. También aparecen frecuentes enclaves microgranulares máficos elipsoidales. Las medidas tridimensionales de los enclaves definen una morfología oblata del elipsoide.

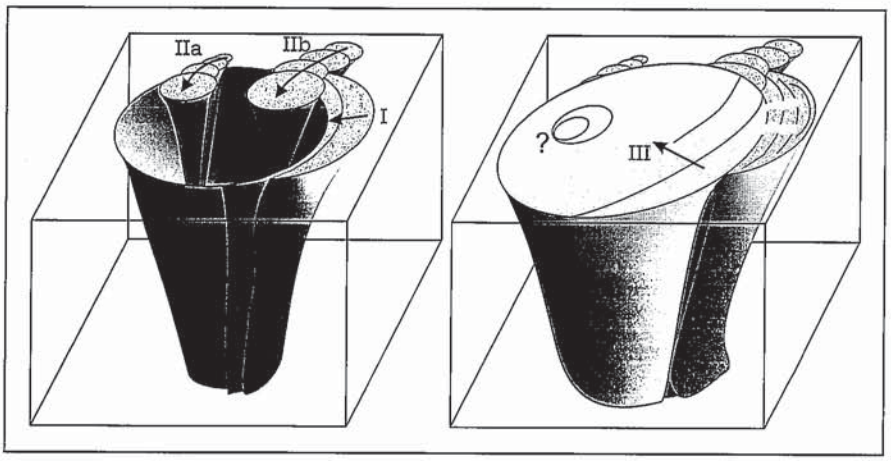

Fig. 4.- Modelo de génesis de la estructura elíptica como consecuencia de sucesivos flujos tubulares superpuestos en un sistema dinámico con flujo magmático subvertical.

Fig. 4.- Model on the origin of the elliptical structure as the result from the succesive evolution of tubular pathways in a dynamic subvertical flow.

Para estudiar la fábrica granítica que rodea a dicha estructura, se ha realizado una serie de medidas de la orientación de la cara ancha (010) en los megacristales de feldespato potásico en cinco estaciones, tres en el entorno cercano a la estructura elíptica (estaciones 1, 2 y 3, Fig. 1) y otras dos más alejadas (estaciones 4 y 5, Fig. 1), y se han representado los correspondientes estereogramas de los polos de las citadas caras. Además se ha medido el eje largo de la cara ancha y se han representado en el esquema cartográfico (Fig. 1)

Las medidas de la cara ancha (010) de los megacristales de feldespato potásico presentan las siguientes características: los polos de (010) en la estación 1 definen una concentración axial (*cluster)* moderadamente desarrollada; en la estación 2 definen una guirnalda débilmente desarrollada, mientras que las estaciones 3, 4 y 5 definen un *cluster* y una guirnalda débilmente desarrollados (Fig. 1). Se puede deducir de estas distribuciones que los megacristales definen una fábrica planar muy débilmente desarrollada, aunque en la estación 1 los datos apuntan a una fábrica planar bien definida.

Con respecto a la orientación de los ejes largos de las caras de los feldespatos se observa una distribución más clara. En todas ellas se pone de manifiesto una orientación dominante entre los 355° y los 010°, con inmersiones tanto al sur como al norte. Aparece otra orientación, no tan bien representada como la anterior, hacia los 030°-040°, con una inmersión dominante hacia los 210°; existe además, escasamente representada, la orientación 060°.

Todo este conjunto de observaciones indican que la fábrica granítica, en esta zona, es fundamentalmente lineal y con una orientación dominante 355°-010°.

Discusión

De la descripción realizada se establecen relaciones temporales entre las tres zonas. Basándose en criterios de corte entre laminaciones ígneas, se deduce que la parte central o zona III es la más moderna por truncar claramente los últimos bandeados curvados de la zona II-a y, de forma menos clara por estar esa parte del afloramiento parcialmente cubierta, la zona II-b (Fig.3B). También se aplica este criterio en el reducido contacto entre las zonas I y II, donde se observa cómo el bandeado curvo más antiguo del afloramiento occidental trunca el bandeado del extremo septentrional de la zona I (Fig. 2). Las láminas de la zona I son más modernas hacia el oeste y aparecen truncadas por las láminas de la zona III.

En el límite de la zona III con la I aparece una fina interestratificación félsico-máfica con textura lobulada, ya descrita, que podría interpretarse como inestabilidades entre fundidos de distinta viscosidad (y velocidad de ascenso).

En cuanto a la génesis de estas estructuras como pruebas de convección magmática (temprana o algo más tardía en la historia de enfriamiento de los plutones) son escasos los trabajos dedicados a ellas y por su rareza, difíciles de clasificar. El conjunto de estructuras descritas presenta un diseño en afloramiento parecido a algunas de las estructuras de Barrière (1981) y Weinberg *et al.* (2001) y, por tanto, suponemos un modelo genético similar al propuesto por estos autores. Este origen se esquematiza en la fig. 4, en la que un tubo ascendente de flujo magmático crecería en la vertical y avanzaría linealmente en la horizontal mediante aportes irregulares de magma. El flujo paralelo a las paredes del tubo daría lugar a la alternancia de bandas claras y oscuras en forma de cazo que se observa en sección horizontal. Los tubos presentarían diferentes radios de curvatura, siendo los de la zona II los más pequeños. Además, la zona I muestra evidencias de una historia dinámica más turbulenta en la que ocurren fenómenos de fragmentación, retrabajamiento e incorporación de sectores máficos bandeados a la propia estructura. El flujo ígneo que origina las laminaciones paralelas presentaría una cadencia de alimentación que explicaría las sucesivas truncaciones y daría lugar a bandas de acumulación de fenocristales de feldespato potásico. Finalmente la zona III, casi carente de *schlierens*, podría constituir, en un sistema ígneo cerrado, el último aporte de magma (líquido residual), ya exento de megacristales y enclaves al haber sido extraídos del fundido original durante la alimentación de las estructuras previas (zonas I y II).

Agradecimientos

El afloramiento estudiado fue el primero que el profesor J. Mª Fúster mostró a su entonces doctoranda Cecilia Pérez-Soba cuando empezaba su tesis en el macizo de La Pedriza. El recuerdo a su persona y enseñanzas ha estado presente en toda la elaboración de este trabajo. Agradecemos también las correcciones y sugerencias del profesor César Casquet. La realización de este trabajo ha sido financiado por el proyecto subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España (proyecto BTE2000-0575).

Referencias

Barrière, M (1981): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 77, 214-224

Clarke, D.B. y Clarke, G.K.C. (1998): *Jour. Struct. Geol.*, 20, 1305-1324

Cobbing, J. (2000): *The geology and mapping of granite batholiths.* Springer Verlag, Lecture Notes in Earth Sciences, nº 96,141 pp

ITGE (1990): Hoja geológica nº 508 (Torrelaguna) 1:50.000, Plan MAGNA

Marre, J (1982): *Méthodes d'analyse structurale des granitoïdes.* B.R.G.M. 123 pp.

Pérez-Soba, C. (1991): Tesis doctoral. Univ. Complutense Madrid, 278 pp

Pitcher, W.S. y Berger, A.R. (1972): *The geology of Donegal: a study of granite emplacement and unroofing.* Wiley Interscience, 435 pp.

Reid, J.B. Murria, D.P., Hermes, O.D. y Steig, I (1993): *Geology*, 21, 587-590

Stephenson, P.J. (1990): *Geol. Jour.* 25, 227-238

Villaseca, C y Herreros, V (2000): *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sciences*, 91, 207-219

Weinberg, R.F., Sial, A.N. y Pessoa, R.R. (2001): *GSA Bulletin,* 113, 508-52