

**LA FÁBRICA MAGNÉTICA DE LOS LAMPRÓFIDOS ALCALINOS
DEL PLUTÓN GRANITOIDEO DE PANTICOSA.
APLICACIÓN AL ANÁLISIS DE LA ETAPA EXTENSIONAL
DEL MAGMATISMO TARDIVARISCO PIRENAICO
(PROVINCIA DE HUESCA)**

Carlos GALÉ*
Andrés GIL-IMAZ*
Marceliano LAGO*
Óscar PUEYO*
Enrique ARRANZ*
Teresa UBIDE*

RESUMEN. — El plutón varisco de Panticosa está atravesado por dos conjuntos consecutivos de diques de lamprófidos, composicionalmente diferentes y que se emplazaron según direcciones distintas: 1) espesartitas minoritarias, con direcciones N-S, y 2) camptonitas, predominantes, de direcciones O-E a NO-SE. El estudio de ASM refleja las diferencias en la mineralogía magnética entre ambas familias y permite elaborar un modelo temporal de emplazamiento, en relación con el marco estructural, consistente en dos etapas; una primera, de creación de un sistema de diques subperpendiculares bajo el efecto de una compresión generalizada NE-SO, y una posterior, de deformación asociada a una dirección de compresión NO-SE.

* Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. E-50009 ZARAGOZA.
carlos.gale@gmail.com

ABSTRACT. — The Variscan pluton of Panticosa is cross-cut by two compositionally different and temporally consecutive swarms of lamprophyre dykes of Permian age: spessartites with a N-S trend and camptonites with a W-E prevailing trend. The differences in the magnetic mineralogy between the two groups have been revealed by the AMS study of these dykes, making possible to define a two-stage structural model for the emplacement of these dykes. The first stage involves the emplacement of spessartite and camptonite dykes with subperpendicular trends related to a general NE-SW compression. In the second stage, the compression trend changes from NE-SW to NW-SE.

KEY WORDS. — AMS, lamprophyre, Panticosa, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

Los diques de lamprófidos son frecuentes en el plutón granítico de Panticosa (Huesca) y han sido objeto de diversos estudios sobre su composición petrológica y geoquímica. GALÉ et alii (2003), LAGO et alii (2004*a, b* y *c*) y GALÉ (2005) ponen de manifiesto la presencia de magmas básicos, de origen profundo, emplazados durante el periodo tardivarisco en una situación de deformación extensional.

El marco estructural de la deformación extensional que afectó a la cordillera pirenaica, a favor del cual se emplazan estos diques, no ha sido objeto de estudios detallados hasta ahora, por lo que resulta un tema de especial interés para el estudio del tránsito del Ciclo Varisco al Ciclo Alpino en los Pirineos.

El objetivo de este trabajo es determinar las características geométricas y cinemáticas del proceso de emplazamiento de estos diques de lamprófidos, mediante un estudio cartográfico y estructural de detalle, así como mediante el estudio sistemático y detallado de su fábrica magnética mediante la técnica de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM).

La técnica de la ASM ha demostrado ser una herramienta de gran utilidad para definir direcciones de flujo ígneo en intrusiones tabulares como diques o sills (ELLWOOD, 1978; HILLHOUSE & WELLS, 1991; ERNST & BARAGAR, 1992; CAÑÓN-TAPIA et alii, 1996; GLEN et alii, 1997; GEOFFROY et alii, 2002).

En la actualidad se emplean dos modelos generales para describir la relación geométrica y cinemática entre la dirección del flujo ígneo y los ejes

principales del elipsoide de susceptibilidad magnética. La aplicación clásica de la técnica de ASM a rocas ígneas asume que la lineación magnética (valor promedio del eje K1), o el valor promedio del eje K2, es paralela al “vector de flujo” ígneo (KNIGHT & WALKER, 1988; ROCHETTE et alii, 1991; STAUDIGEL et alii, 1992; VARGA et alii, 1998; HERRERO-BERVERA et alii, 2001). En el segundo modelo, el vector de flujo se estima a partir de un cómputo geométrico entre los ejes K3 (susceptibilidad mínima) y la perpendicular a la pared de la intrusión (HILLHOUSE & WELLS, 1991; GEOFFROY et alii, 2002; CALLOT & GUICHET, 2003). Esto es porque K1 coincide, a menudo, con un eje de intersección (el eje de zona de dos subfábricas dentro del dique).

En ocasiones se obtienen fábricas magnéticas anómalas, con los ejes K1 no coincidentes con la dirección de flujo o con los ejes K1 y K3 intercambiados. En estos casos, las relaciones, la orientación de los cristales, la dirección del flujo ígneo y las susceptibilidades principales pueden ser explicadas de diferente manera (ROCHETTE et alii, 1991, 1999): *a*) presencia de cristales de magnetita de dominio sencillo (*SD magnetites*), *b*) crecimiento tardío de cristales ferromagnéticos en la dirección perpendicular a las paredes del dique, *c*) efectos de rodamiento (*rolling*) de granos alargados o *d*) presencia de flujo turbulento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo en campo se ha realizado con ayuda de una perforadora portátil de gasolina, refrigerada por agua. Las brocas empleadas para la extracción, con corona de diamante, tienen un diámetro estándar de 2,5 cm. Se han obtenido cilindros orientados (con ayuda de una brújula) de roca de entre 6 y 15 cm de longitud. Dichos cilindros han sido posteriormente cortados y resigladados para obtener especímenes estándar con una relación altura/diámetro de 0,82 y volumen de 10,3 cm³.

El estudio de la fábrica magnética se ha centrado en dos diques de escala métrica (Fig. 1) representativos de las dos familias establecidas: espesartitas y camptonitas. En el primero, un dique de espesartita de orientación media 008, 76 E, donde se obtuvieron un total de 36 especímenes de las cuales 20 corresponden a la pared occidental y 16 a la oriental. En el segundo

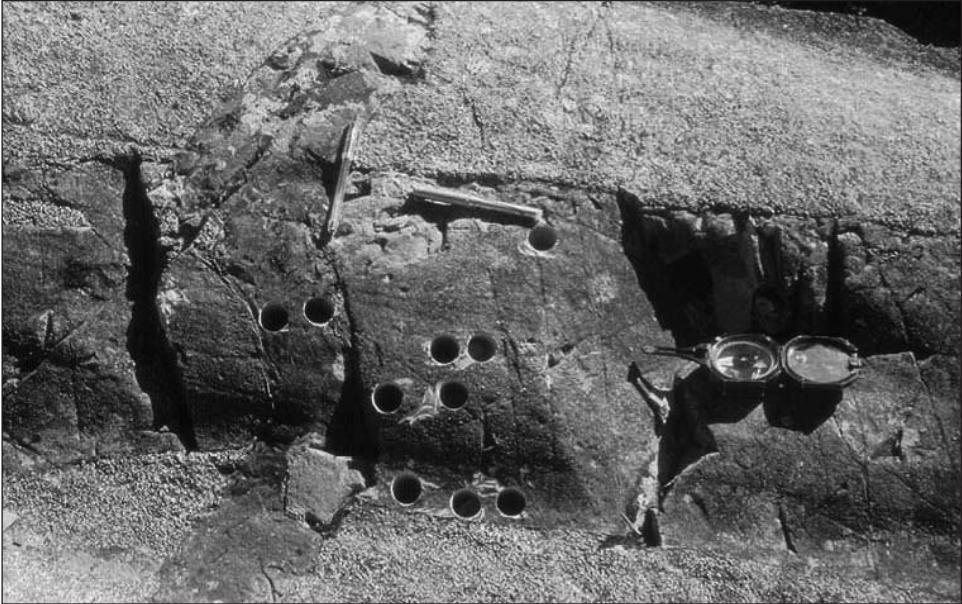


Fig. 1. Aspecto de campo de los diques muestreados.

dique, de composición camptonita, con una orientación subperpendicular pero modificada por deformación posterior, las medidas de la ASM se realizaron sobre un total de 13 especímenes repartidos uniformemente en sus paredes septentrional y meridional.

El estudio de la composición mineralógica se ha realizado mediante una microsonda electrónica, modelo JEOL-JM6400, en el Centro de Microscopía Electrónica Luis Bru de la Universidad Complutense de Madrid.

La medida de la ASM se ha realizado en un susceptómetro KLY-03 (utilizando un puente de baja intensidad de campo magnético), basado en la medida de las susceptibilidades direccionales a lo largo de determinadas direcciones sobre los especímenes de roca (JELINEK, 1981).

DISPOSICIÓN Y ORIENTACIONES DE LOS DIQUES

Los diques de lamprófidos presentes en el plutón de Panticosa comprenden dos grupos composicionales que se emplazaron según orientaciones preferentes distintas. El primer grupo comprende espesartitas calcoalcalinas,

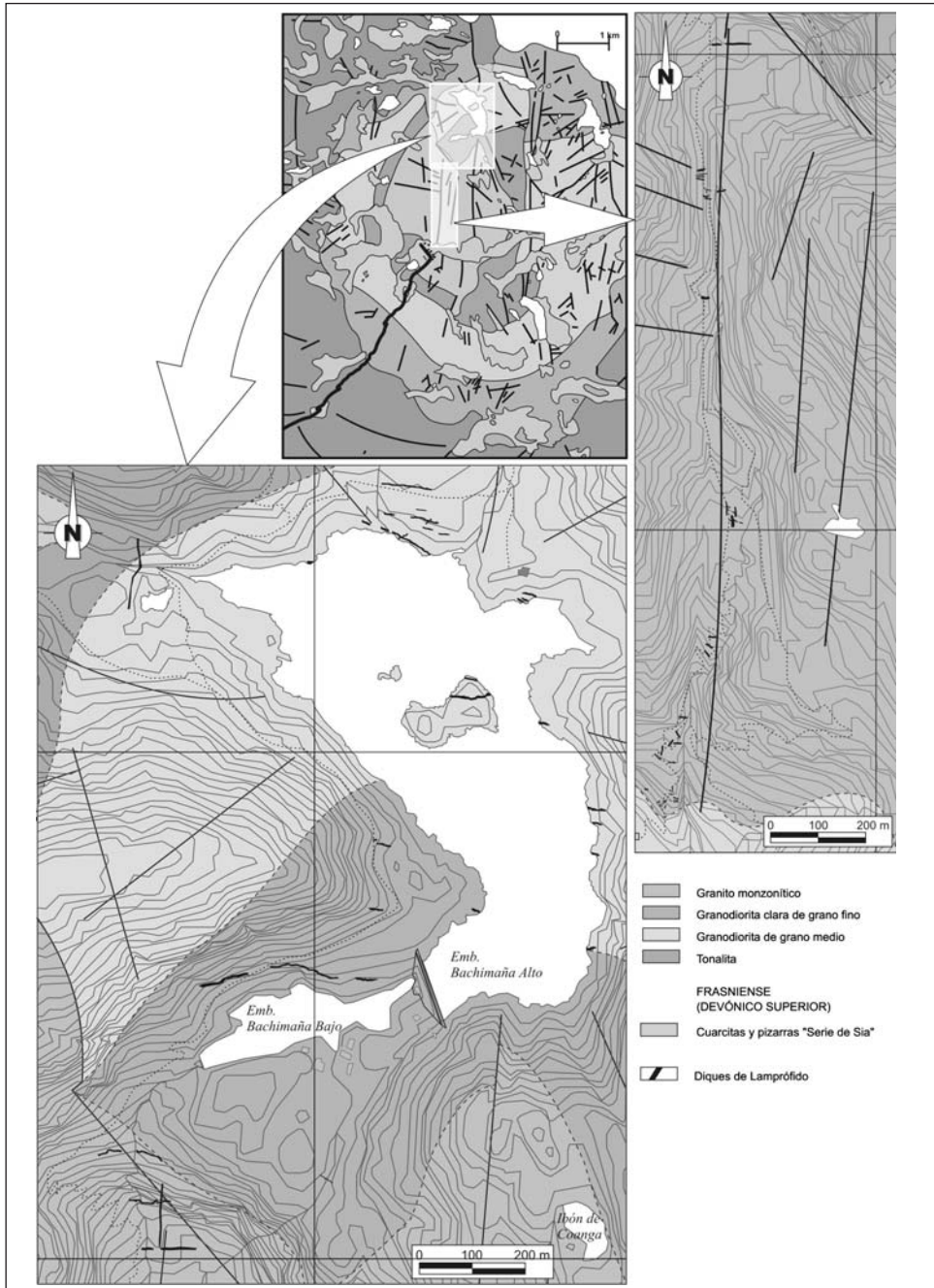


Fig. 2. Mapa geológico de detalle del área de estudio.

tiene una orientación preferente N-S y es mucho menos numeroso. El segundo grupo, predominante, está constituido por camptonitas de afinidad alcalina y sus direcciones preferentes de emplazamiento son E-W a ENE-WSW. El estudio de campo nos ha permitido elaborar una cartografía geológica de detalle (Fig. 2) en la que se refleja la posición y la orientación preferentes de numerosos diques de lamprófidó.

Aislados casos de intersección indican que diques con la primera orientación (N-S) son cortados por la otra familia de intrusiones, lo que permite establecer una cronología relativa de emplazamiento.

Estos diques alcanzan gran longitud (superior a 1 km) y tienen una potencia muy variable (desde centímetros hasta 15 m). Los contactos con el encajante granítico son, en todos los casos, netos y es común el desarrollo de bordes enfriados en el lamprófidó. Las trazas de los diques son irregulares, en ocasiones, difíciles de seguir y se dan espectaculares situaciones de corte de varias generaciones de diques.

Más en detalle, se han estudiado más de 70 ejemplos de diques y se ha determinado (Fig. 3A) una dirección predominante próxima al W-E ($N085^{\circ}$ - $N090^{\circ}$), con otras direcciones oblicuas destacadas ($N110^{\circ}$, $N65^{\circ}$ y

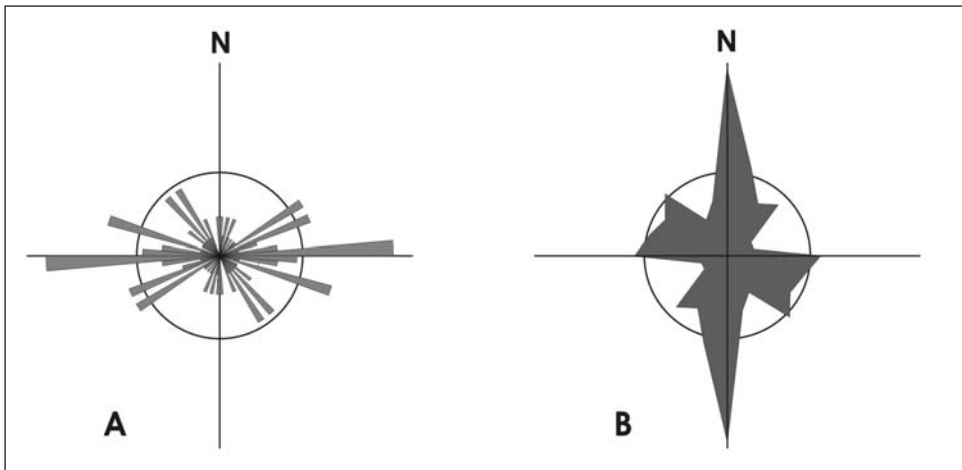


Fig. 3. A) Proyección en un diagrama de rosa de los vientos de las direcciones de más de 70 diques de lamprófidós analizados. Se observa la predominancia de la familia E-W, seguida por otras direcciones oblicuas. B) Direcciones principales de las fracturas en el plutón de Panticosa (según DEBON, 1975).

N140°), coincidente con el rango de N80°E a N140°E obtenidas por DEBON (1975). El buzamiento es próximo a la vertical o dirigido hacia el N-NE.

Las direcciones de estos diques coinciden, fundamentalmente, con las direcciones de fracturas que presentan los granitoides, donde destacan dos familias principales de fallas (DEBON, 1975): una predominante de dirección N-S y otro grupo de dirección W-E a WNW-ESE (Fig. 3B).

Las características de contacto de los diques con el encajante granítico sugieren que el emplazamiento de los lamprófidos se produjo cuando el granitoide estaba ya consolidado, dando contactos netos y bordes enfriados en el material básico, a favor de fracturas previas del encajante.

CARACTERÍSTICAS PETROLÓGICAS DE LOS LAMPRÓFIDOS

Espesartitas

Las espesartitas (diques de dirección N-S) tienen un color gris verdoso a verde, con un tamaño de grano muy fino, destacando solamente algunos fenocristales aislados de feldespatos. Presentan gran homogeneidad composicional y textural y, además, se encuentran algo alteradas. Su textura es hipocristalina, algo traquítica y de grano fino, con microlitos de plagioclasa y, en ocasiones, fenocristales de plagioclasa sericitizada, por lo que existe un cierto carácter pilotáxico. En algunos fenocristales de plagioclasa se intuyen zonaciones composicionales, enmascaradas por la alteración generalizada. Se han encontrado algunos microcristales de clinopiroxeno (< 5%) algo titatanado, sincristalizando con los microlitos de plagioclasa. Los minerales opacos tienen composición de magnetita y se presentan como cristales idiomorfos de gran tamaño y microcristales de hipidiomorfos a alotriomorfos con una gran dispersión a lo largo de la roca. Es común la presencia de cuarzo microcristalino en el espacio libre, así como clorita y carbonatos como productos de relleno de fisuras y de alteración de las plagioclasas cálcicas.

Camptonitas

Las camptonitas son, en muestra de mano, más oscuras y tienen un tamaño de grano fino, con fenocristales de piroxeno, anfíbol y plagioclasa.

En casos aislados se identifican alineaciones de minerales ferromagnesianos (anfíbol o piroxeno) y, con menor frecuencia, de minerales félsicos (plagioclasas); dentro de este grupo destaca una facies por encima del resto que presenta fenocristales de anfíbol que pueden alcanzar un desarrollo destacado (centimétrico) en diques situados al S del Ibón Inferior y al N de Bachimaña. Presentan cierto rango de variación en las proporciones modales de sus minerales principales y, a su vez, una amplia variedad textural, con variación de tamaño desde tipos de grano medio a otros de grano fino. Comprenden desde términos claramente porfídicos a términos doleríticos y tienen una asociación mineral primaria formada por plagioclasa (rango en An_{56-46}), clinopiroxeno (Ti-augita, con rango de variación en $En_{42}Wo_{42}Fs_{16}$ y $En_{41}Wo_{30}Fs_{29}$) y anfíbol titanado de tipo kaersutita; la biotita y la espinela (Mg-Cromita) son ocasionales. Los minerales secundarios más frecuentes son clorita, epidota, calcita y leucoxeno, y suelen aparecer de manera frecuente dada la alteración general que presentan las rocas.

Dentro de las camptonitas, en función de las variaciones en las proporciones modales de las fases principales (plagioclasa, clinopiroxeno y anfíbol) distinguimos dos facies petrográficas, una rica en clinopiroxeno y otra rica en anfíbol. El estudio de la anisotropía magnética ha sido llevado a cabo en diques del tipo facies rica en clinopiroxeno que, en detalle, presenta textura porfídica e hipocristalina donde los fenocristales de clinopiroxeno (Ti-augita) presentan desarrollo subofítico (Pl_1) con poiquilitización variable por microcristales de plagioclasa (Pl_2) y, a su vez, los cristales de plagioclasa (Pl_2 y Pl_3) presentan un desarrollo intergranular (carácter dolerítico). Los fenocristales de plagioclasa (Pl_1) son aislados. Los opacos con mayor desarrollo e idiomorfismo son magnetitas. Las vesículas están rellenas bien por agregados de epidota (pistacita) o por clorita. La composición modal, referida a fases primaria es, 40-45% clinopiroxeno, 45-50% plagioclasa y 5-8% opacos.

SUSCEPTIBILIDAD MEDIA Y MINERALOGÍA MAGNÉTICA

Para el caso de los diques muestreados (Tabla I), los valores promedio de K_m varían desde 420×10^{-6} [SI] hasta 740×10^{-6} [SI]. El valor promedio es de $\approx 580 \times 10^{-6}$ [SI]. Estos valores son típicos de rocas basálticas donde la magnetita es la principal fase magnética (ferromagnética) respon-

sable de la susceptibilidad de la roca (ROCHETTE et alii, 1991). Estos valores contrastan con los obtenidos para el granito encajante (valor promedio de $\approx 80 \times 10^{-6}$ SI) caracterizado por la presencia de biotita como principal fase paramagnética portadora de la susceptibilidad magnética.

En relación con los dos diques, se infiere una buena correlación entre los valores de susceptibilidad media obtenida y las características petro-lógicas de las muestras. En este sentido cabe señalar que el mayor valor obtenido se da en muestras del dique de orientación E-O, lo cual es coherente con la composición de esta roca (camptonita-lamprófido alcalino) equivalentes a los basaltos alcalinos del Pérmico que afloran en áreas próximas (GIL et alii, 2002; GALÉ, 2005). Por su parte, el dique de orientación N-S (espesartita) tiene un valor promedio de susceptibilidad de 480×10^{-6} [SI], compatible con una composición de tipo andesítica y afinidad calcoalcalina.

Tabla I. Datos medios de ASM para diques de lamprófido y granito encajante del plutón de Panticosa. N = número de especímenes; Km = susceptibilidad media ($\times 10^{-6}$ [SI]); Pj y Tj son el grado de anisotropía y el parámetro de forma, respectivamente (JELINEK, 1981).

Site	N	Km	Pj	Tj
Granito encajante	11	83,5	1,022	0,008
Dique N-S (espesartita)	Pared O 20	Pared O 419,3	Pared O 1,083	Pared O 0,236
	16 Pared E	577,3 Pared E	1,081 Pared E	-0,173 Pared E
	Σ 36	478,8	1,082	0,054
Dique E-O (camptonita)	Pared N 7	Pared N 740,0	Pared N 1,034	Pared N 0,567
	5 Pared S	572,3 Pared S	1,107 Pared S	0,322 Pared S
	Σ 12	670,1	1,027	0,465

FORMA Y ORIENTACIÓN DE LOS ELIPSOIDES MAGNÉTICOS

El análisis de la forma de los elipsoides magnéticos se ha llevado a cabo mediante el gráfico de anisotropía (Fig. 4). En el caso de los diques analizados predominan los elipsoides oblatos tanto en las espesartitas (N-S)

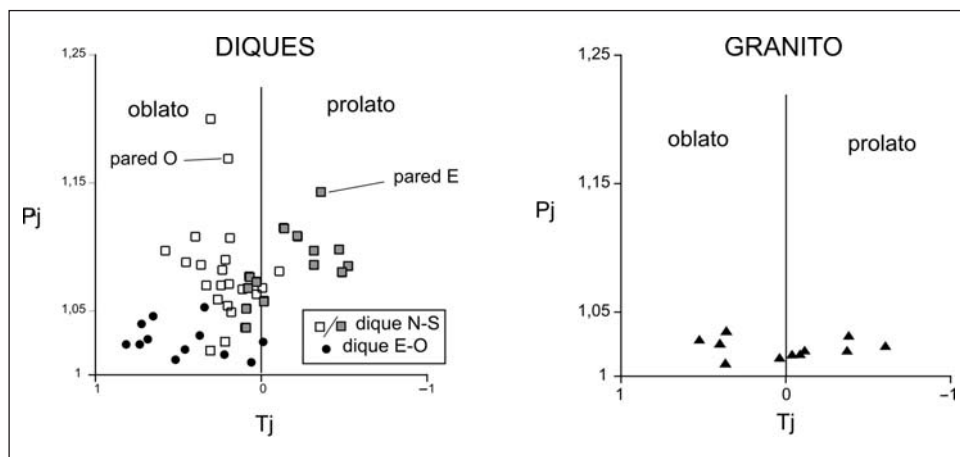


Fig. 4. Comparación de los gráficos de anisotropía de las muestras de los diques de lamprófido (a) y las del granito encajante (b). Explicación en el texto.

como en las camptonitas (E-O). Los valores promedio de P_j y T_j varían entre 1,017 (dique E-O) y 1,083 (dique N-S) y $-0,173$ (dique N-S) y $0,567$ (dique E-O), respectivamente. Mientras que valores bajos del grado de anisotropía ($< 1,05$) y la forma de los elipsoides predominantemente oblatas ($1 > T_j > 0$), son rasgos característicos de intrusiones tabulares (HROUDA, 1982; STAUDIGEL et álii, 1992; TAMRAT & ERNESTO, 1999; CALLOT et álii, 2001), valores elevados del grado de anisotropía y formas prolatas ($-1 < T_j < 0$), sugieren la contribución de algún proceso posterior al emplazamiento y enfriamiento del magma.

Por lo que respecta al granito encajante, el gráfico de anisotropía revela las características propias de rocas ígneas de afinidad paramagnética, cuya fábrica responde a un proceso de flujo primario.

El análisis direccional de los ejes principales de susceptibilidad se ha realizado mediante proyección estereográfica (Fig. 5). En el caso de los estereogramas correspondientes a los dos diques de lamprófidos, además de los ejes principales del elipsoide de susceptibilidad de cada espécimen, se ha representado la foliación magnética (guirnalda de ejes intermedio y máximo) y la orientación media de las paredes del dique. En todos los casos, diques y granito encajante, se ha calculado el cono de confianza de la lineación magnética.

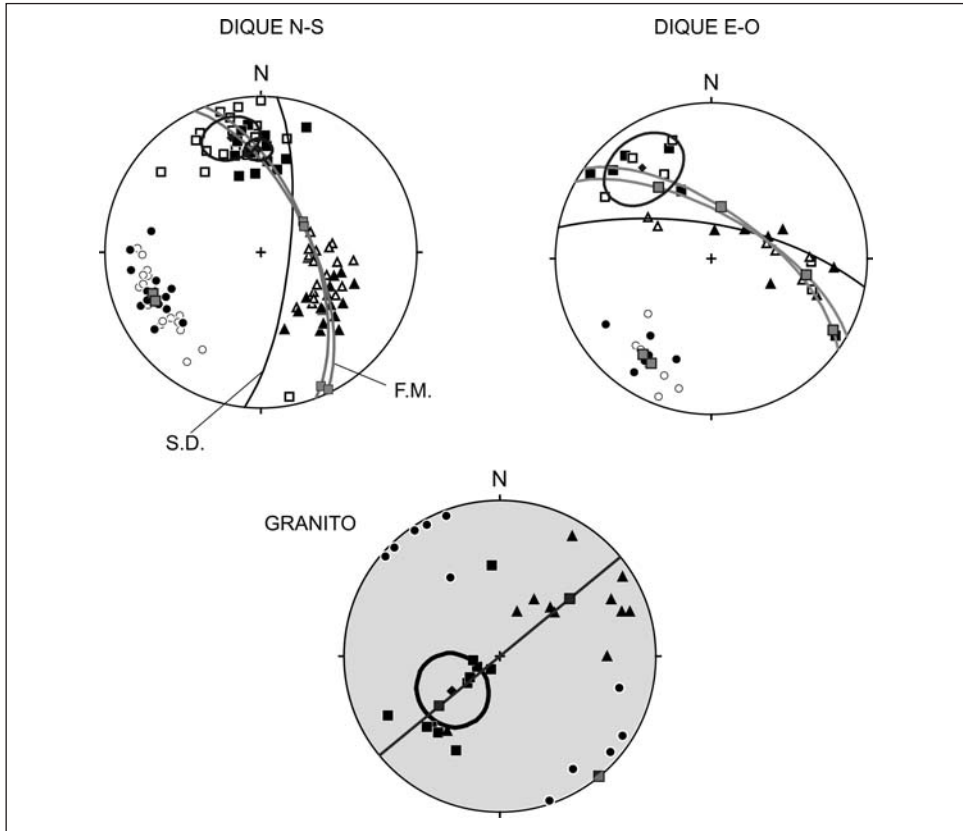


Fig. 5. Proyecciones estereográficas de los ejes principales de elipsoides magnéticos. En cada estereograma, cuadrados, triángulos y círculos representan las susceptibilidades máxima, intermedia y mínima; los círculos máximos en gris, la foliación magnética, y en negro, la superficie media de los diques.

De acuerdo con el trabajo de ROCHETTE et alii (1991) en diques ofiolíticos, la presencia de una foliación magnética próxima a la superficie media de emplazamiento y un predominio de elipsoides oblatos permite considerar las fábricas magnéticas como “normales”. Como se observa en los estereogramas, en ambos diques existe una marcada oblicuidad entre su superficie media y las foliaciones magnéticas deducidas en relación con cada pared. A pesar de la diferencia en sus orientaciones, otro rasgo común a ambos diques es la presencia de una lineación magnética de orientación N300E a N350E.

DISCUSIÓN

Una característica frecuente en diques es la presencia de foliaciones magnéticas paralelas a las paredes, elipsoides de formas marcadamente oblatas y orientaciones de los ejes máximo (K1) o intermedio (K2) paralelas a la dirección de flujo (ROCHETTE et álii, 1991, 1999). Por otro lado, diversos autores han constatado un patrón imbricado de la foliación magnética en relación con el efecto friccional de las paredes sobre el magma durante su emplazamiento (HILLHOUSE & WELLS, 1991; GEOFFROY et álii, 2002; CALLOT & GUICHET, 2003).

Como muestran los resultados del estudio realizado, este patrón imbricado no se encuentra en los diques analizados. Además, la foliación magnética media que contiene una lineación bien definida en ambos casos, es oblicua respecto a la pared media de los diques (Fig. 6). La explicación del origen de tal oblicuidad resulta un tema fundamental a la hora de establecer cualquier interpretación cinemática.

En este sentido, mientras que diques asociados a una extensión pura darían lugar a fábricas con un elevado grado de simetría (respecto al plano central del dique), un emplazamiento en condiciones de cizalla simple generaría fábricas poco simétricas, marcadamente monoclinicas. Considerando estos argumentos geométrico-cinemáticos, y a la espera de un estudio más exhaustivo en otros diques, los resultados obtenidos permiten plantear un modelo de emplazamiento en condiciones transtensivas (extensión + cizalla simple). Bajo estas condiciones cinemáticas y considerando el marco estructural tardivarisco en este sector del Pirineo, la lineación magnética, en ambos diques, indicaría una dirección de extensión local NNO-SSE a NO-SE. A este esquema estructural, hay que añadir una última deformación responsable de la cizalla sinistra del dique de orientación E-O. Esta última deformación sería la causante del giro pasivo de la fábrica magnética del dique E-O.

CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio cartográfico exhaustivo de los diques de lamprófidos del plutón granítico de Panticosa, aportándose una cartografía de detalle novedosa que revela la posición y orientación de estos diques.

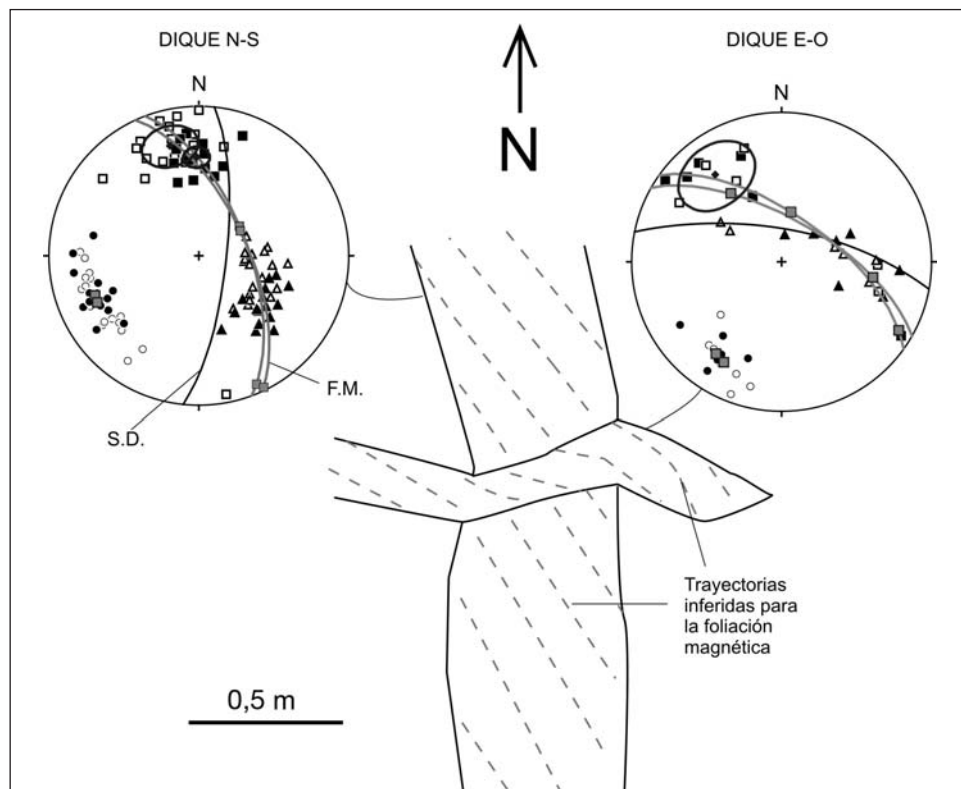


Fig. 6. Reconstrucción de las trayectorias de la foliación magnética en los diques estudiados a partir de los datos direccionales de susceptibilidad magnética (estereogramas).

Existen varias direcciones principales de emplazamiento de los diques de lamprófidos, siendo mayoritaria la orientación E-O, frente al resto. También se observan numerosas direcciones oblicuas y son minoritarias las de rumbo N-S. Las principales orientaciones coinciden con las direcciones de fracturación predominantes dentro del plutón.

La composición de los diques se divide, fundamentalmente, en dos grandes tipos. El primero de ellos es mayoritario, tiene direcciones E-O y próximas y está formado por camptonitas, de composición alcalina, equivalentes a los basaltos alcalinos del Pérmico medio emplazados en áreas próximas al plutón de Panticosa (por ejemplo, Anayet). El segundo, muy minoritario, presenta orientaciones N-S y su composición es de espesartitas calcoalcalinas, similares a otras andesitas del Pérmico inferior de la cadena pirenaica.

Las relaciones de corte entre familias de diques señalan que el emplazamiento de las espesartitas (N-S) es anterior al de las camptonitas E-O y oblicuas.

Tomando en consideración el conjunto de datos obtenidos mediante el estudio de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética de los diques de lamprófidos del plutón de Panticosa, así como de su encajante granítico, es posible establecer una secuencia de eventos que puede resumirse en

1. Creación de un sistema de diques subperpendiculares bajo el efecto de una compresión generalizada NE-SO, responsable de una foliación oblicua de orientación NNO-SSE a NO-SE y una lineación magnética paralela a la dirección de extensión local.
2. Deformación tardía asociada a una dirección de compresión NO-SE responsable de la cizalla dúctil sinistra y rotación pasiva del dique de orientación E-O.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por una Ayuda a la Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en su convocatoria del año 2005.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALLOT, J. P.; GEOFFROY, L.; AUBOURG, C.; POZZI, J. P., & MEGE, D. (2001). Magma flow directions of shallow dykes from the East Greenland volcanic margin inferred from magnetic fabric studies. *Tectonophysics*, 335: 313-329.
- CALLOT, J. P., & GUICHET, X. (2003). Rock texture and magnetic lineation in dykes: a simple analytical model. *Tectonophysics*, 366: 207-222.
- CAÑÓN-TAPIA, E.; WALKER, G. P. L., & HERRERO-BERVERA, E. (1996). The internal structure of lavas: insights from AMS measurements I: near vent "a-a". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 70: 21-36.
- DEBON, F. (1975). Les massifs granitoïdes à structure concentrique de Cauterets-Panticosa (Pyrénées occidentales) et leurs enclaves. Une étude pétrographique et géochimique. *Mém. Sci. de la Terre. Nancy*, 33, 420 pp.
- ELLWOOD, B. B. (1978). Flow and emplacement direction determined for selected basaltic bodies using magnetic susceptibility anisotropy measurements. *Earth and Planetary Science Letters*, 41: 254-264.

- ERNST, R. E., & BARAGAR, W. R. A. (1992). Evidence from magnetic fabric for the flow pattern of magma in the MacKenzie giant radiating dyke swarm. *Nature*, 356: 511-513.
- GALÉ, C.; LAGO, M.; ARRANZ, E.; GIL, A., y POCOVÍ, A. (2003). Geochemistry of the alkaline magmatism related to the onset of Mesozoic extension in the Pyrenees. En *Volumen de Actas del IV Iberian Geochemical Meeting*: 75-77.
- GALÉ, C. (2005). *Evolución geoquímica, petrogenética y de condiciones geodinámicas de los magmatismos pérmicos en los sectores central y occidental del Pirineo*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 467 pp.
- GEOFFROY, L.; CALLOT, J. P.; AUBOURG, C., & MOREIRA, M. (2002). Magnetic and plagioclases linear fabric discrepancy in dykes: a new way to define the flow vector using magnetic foliation. *Terra Nova*, 14: 183-190.
- GIL, A.; LAGO, M.; GALÉ, C.; POCOVÍ, A., y ARRANZ, E. (2002). Magnetic fabric in folded sills and lava flows. A case study in the Permian basalts of the Anayet Massif (Pyrenean Axial Zone, Spain). *Tectonophysics*, 350: 1-15.
- GLEN, J. M.; RENNE, P. R.; MILNER, S. C., & COE, R. S. (1997). Magma flow inferred from anisotropy of magnetic susceptibility in the coastal Paraná-Etendeká igneous province: Evidence for rifting before flood volcanism. *Geology*, 25: 1131-1134.
- HENRY, B. (1997). The magnetic zone axis: a new element of magnetic fabric for the interpretation of the magnetic lineation. *Tectonophysics*, 271: 325-351.
- HERRERO-BERVERA, E.; CAÑÓN-TAPIA, E.; WALKER, G. P. L., & TANAKA, H. (2001). Magnetic fabric study and inferred flow directions of lavas of the Old Pali Road, Oáhu, Hawaii. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 118: 161-171.
- HILLHOUSE, J. W., & WELLS, R. E. (1991). Magnetic fabric, flow direction and source area of the lower Miocene Peach Spring Tuff in Arizona, California and Nevada. *Journal of Geophysical Research*, 96: 12443-12460.
- HROUDA, F. (1982). Magnetic anisotropy and its application in geology and geophysics. *Geophysical Survey*, 5: 37-82.
- HROUDA, F., & KAHAN, S. (1991). The magnetic fabric relationship between sedimentary and basement nappes in the High Tatra Mountains, N. Slovakia. *Journal of Structural Geology*, 13: 431-442.
- JELINEK, V. (1981). Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79: 63-67.
- KHAN, M. A. (1962). The anisotropy of magnetic susceptibility of some igneous and metamorphic rocks. *Journal of Geophysical Research*, 67: 2873-2885.
- KNIGHT, M. D., & WALKER, G. P. L. (1988). Magma flow directions in flows of the Koolau Complex, Oahu, determined from magnetic fabric studies. *Journal of Geophysical Research*, 93: 4308-4319.

- LAGO, M.; GALÉ, C.; GIL, A.; ARRANZ, E., y POCOVÍ, A. (2004a). Los lamprófidos alcalinos del Pérmico superior emplazados en el plutón granitoideo de Panticosa (Huesca): petrología y mineralogía. *Geotemas*, 6(1): 61-65.
- LAGO, M.; GALÉ, C.; ARRANZ, E.; GIL, A., y POCOVÍ, A. (2004b). Geoquímica de los lamprófidos alcalinos del plutón granitoideo de Panticosa (Huesca). *Geotemas*, 6(1): 65-68.
- LAGO, M.; ARRANZ, E.; POCOVÍ, A.; GALÉ, C., & GIL-IMAZ, A. (2004c). Upper permian magmatism and basin dynamics in the southern Pyrenees: a record of the transition from late Variscan transtensional to early Alpine extension. En WILSON, M.; NEUMANN, E. R.; DAVIES, G. R.; TIMMERMAN, M. J.; HEEREMANS, M., y LARSEN, B. T. (eds.). *Permo-carboniferous magmatism and rifting in Europe*. Geological Society, Londres, Special Publication, 223: 439-464.
- ROCHETTE, P.; JENATTON, L.; DUPUY, C.; BOUDIER, F., & REUBER, I. (1991). Emplacement modes of basaltic dykes in the Oman ophiolite: evidence from magnetic anisotropy with reference to geochemical studies. En PETERS, T. J. (ed.). *Ophiolite Genesis and the Evolution of the Oceanic Lithosphere*. Kluwer. Dordrecht. 55-82.
- ROCHETTE, P.; AUBOURG, C., & PERRIN, M. (1999). Is this magnetic fabric normal? A review and case studies in volcanic formations. *Tectonophysics*, 307: 219-234.
- STAUDIGEL, H. G.; GEE, G.; TAUXE, L., & VARGA, R. J. (1992). Shallow intrusive direction of sheeted dykes in the Troodos ophiolite: anisotropy of magnetic susceptibility and structural data. *Geology*, 20: 841-844.
- TAMRAT, E., & ERNESTO, M. (1999). Magnetic fabric and rock-magnetic character of the Mesozoic flood basalts of the Paraná Basin, Brazil. *Journal of Geodynamics*, 28: 419-437.
- TARLING, D. H., & HROUDA, F. (1993). *The magnetic anisotropy of rocks*. Chapman & Hall Eds. Londres. 217 pp.
- VARGA, R. J.; GEE, J. S.; STAUDIGEL, H., & TAUXE, L. (1998). Dykes surfaces lineations as magma flow indicators within the sheeted dyke complex of the Troodos ophiolite, Cyprus. *Journal of Geophysical Research*, 103: 5241-5256.
- WALKER, G. P. L.; CAÑÓN-TAPIA, E., & HERRERO-BERVERA, E. (1999). Origin of vesicle layering and double imbrication by endogenous growth in the Birkett basalt flow (Columbia River plateau). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 88: 15-28.