

Fig. 4.—Aspecto al microscopio de un xenolito de origen profundo.

Fig. 4.—Microscopic aspect of deep xenolith.

res descritas en la literatura sugieren que la temperatura alcanzada debió ser elevada; pero ni existen geotermómetros precisos basados en el corindón ni la sillimanita indica un rango preciso de temperatura si la presión se considera elevada.

Las asociaciones minerales de xenolitos más superficiales indican más claramente las condiciones de temperatura alcanzadas durante el emplazamiento de la granodiorita. La paragénesis más común, que contiene cordierita + corindón + hercinita, es

similar a la descrita en la aureola interna de Corie, Escocia (Tilley, 1924, en Turner, 1981). Además, la sillimanita sugiere temperaturas mínimas de intrusión en torno a 800° C, para la presión antes estimada y si se aplican las estimaciones de Heninger (1984) (en Kerrick, 1990) para el equilibrio andalucita-sillimanita. En conclusión, la cifra de 800° C parece muy próxima a la del magma granodiorítico al nivel de emplazamiento, especialmente si se considera la escasa retrogradación de los xenolitos.

## Referencias

- Borja, F.; Faura, J.; Martín, L.; Ortiz, A.; Pastor, M.; García-Dueñas, V.; Vera, J. A.; Galán, E.; Ruiz de Almodóvar, G.; Arribas-Moreno, A.; Burkhalter, J. (1985): *Mapa Geológico Minero de Andalucía*, Junta de Andalucía.
- Donaire, T. (1990): *Tesis de licenciatura*, Univ. de Sevilla (inédita).
- García-Casco, A. (1986): *Tesis de licenciatura*, Univ. de Granada (inédita).
- García-Caso, A.; Pascual, E. y Castro, A. (1987): *Geogaceta*, 2, 59-61.
- Hammarstrom, J. M. y Zen, E-an (1986): *Amer. Miner.*, 71, 1.297-1.313.
- Hollister, L. S.; Grissom, G. C.; Peters, E. K.; Stowell, H. H. y Sisson, V. B. (1987): *Amer. Miner.*, 72, 231-239.
- Kerrick, D. M. (1990): *Rev. in Miner.*, 22.
- Martín Ramos, J. D. y Rodríguez-Gallego, M. (1975): *Bol. Geol. Min.*, 86, 301-308.
- Pascual, E. (1984): *Mem. e Not., Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol.*, Univ. Coimbra, 97, 39-50.
- Prost-Dame, V. (1990): *Thèse 3<sup>e</sup> ème Cycle*, Univ. Paris-Sud, Orsay (inédita).
- Robardet, M. (1976): *C. R. Acad. Sci. Paris.*, t, 283, serie D, 999-1.002.
- Rosing, M. T.; Bird, D. K. y Dymek, R. F. (1987): *Amer. Miner.*, 72, 29-38.
- Sánchez-Pérez, J. M. (1986): *Tesis de licenciatura*, Univ. del País Vasco (inédita).
- Turner, F. J. (1981): *Metamorphic Petrology: mineralogical, field and tectonic aspects*. 2<sup>a</sup> ed. Mc Graw Hill. New York.

Recibido el 31 de enero de 1991  
Aceptado el 1 de marzo de 1991

# Mecanismos de evolución magmática en los diques microdioríticos de la sierra de Guadarrama

## *Magmatic evolution in microdioritic dykes in the Sierra de Guadarrama*

M. J. Huertas y E. Ancochea (\*)

(\*) Dpto. Petrología y Geoquímica. Fac. C. C. Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

### ABSTRACT

*In the Central System of Spain outcrop several dyke swarms of late-hercynian age. They are mainly composed by granitic porphyry and microdioritic dykes. The last one, when globally considered, show scattering in the contents of most of the major and trace elements. When we study the individual microdioritic swarms, it can be observed that they exhibit more defined compositional*

and evolutionary trends. These trends are different from one microdioritic swarm to another. The variations can be justified by different crystal fractionation models and reflect heterogeneities in the source or differences on the melting process.

**Key words:** Central System of Spain, microdioritic dykes, fractionation crystal.

*Geogaceta, 10 (1991), 93-97.*

## Introducción

En el sector Central de la Cadena Hercínica Ibérica se distinguen, al menos, tres etapas sucesivas de inyección filoniana que atraviesan las formaciones plutónicas y metamórficas que lo constituyen (Huertas, 1990). Intruyen en los estadios finales de la Orogenia Hercínica en un contexto continental y distensivo, probablemente ligado a fallas transcurrentes tardihercínicas de dirección N-45°-E, disponiéndose en enjambres de dirección E-W; N-S o N-120-140°-E y NE-SW, según la cronología deducida por las observaciones de campo.

El volumen principal de estos episodios finihercínicos corresponde a los magmas que intruyen en las dos primeras etapas. Forman una asociación bimodal ácida-básica integrada por pórfidos granitoideos (pórfidos tonalíticos a leucograníticos) a los que se asocian diques básicos (diques gabroideos a cuarzdioríticos), distribuidos en el área estudiada en 4 enjambres a dirección E-W y en un grupo de diques de directriz N-S. Los magmas que constituyen el último episodio filoniano NE-SW son diferentes, pues son más subsaturados en cuarzo y varían desde gabros y monzogabros a monzogranitos.

## Petrografía y caracterización geoquímica de los diques básicos

Los diques básicos microdioríticos varían en composición desde gabros y dioritas a cuarzdioritas, siendo escasos los términos tonalíticos. Presentan por lo general, textura porfídica con Índice de Porfirdismo medio <10. Están constituidos por cristales de granu-

lometría seriada de plagioclasa, anfíbol y biotita, así como xenocristales de cuarzo con coronas reaccionales de minerales máficos.

Los fenocristales de plagioclasa tienen composición de An<sub>83-72</sub> a An<sub>69-53</sub> en los diques gabroideos y dioríticos y de An<sub>50-40</sub> a An<sub>30-23</sub> en los diques cuarzdioríticos. Los anfíboles varían desde magnesiohornblendas a tschermakitas y las biotitas presentan contenidos altos en MgO (x=13,5% en los tipos más básicos y x=11,4% en los diques cuarzdioríticos).

Con carácter excepcional hemos observado en algunos diques gabroideos y dioríticos clinopiroxeno con núcleos de composición endiopsido o augita y bordes de salita y, en los tipos más diferenciados del conjunto, feldespato potásico intersticial restringido a la matriz.

Para conocer las principales características geoquímicas que presenta este conjunto filoniano se han realizado 18 análisis químicos en los diques básicos pertenecientes a tres de los principales haces de dirección E-W (El Caloco-La Pedriza; Colmenar Viejo y Las Navas del Marqués-Villalba) y a un dique de directriz N-S.

Esta asociación filoniana presenta caracteres químicos semejantes a los de las asociaciones calcoalcalinas, en sentido amplio (Huertas, 1990). En el diagrama A-B de Debon y Le Fort (1983) se proyectan, con marcada dispersión, en el campo metaaluminico, evolucionando según tendencias cáfemicas, aunque sin describir una pauta de variación lineal clara.

La ausencia de trayectorias de variabilidad definidas queda también reflejada en los diagramas de Harker (fig. 1). No obstante vemos, en términos generales, que a medida que

aumenta el contenido en SiO<sub>2</sub> existen óxidos que disminuyen (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, CaO y MnO), mientras que el K<sub>2</sub>O tiende a aumentar (Coef. Correl. r=0,37) y el Na<sub>2</sub>O no muestra ninguna trayectoria (r=0,01). Las pautas evolutivas que presentan los elementos traza son igualmente poco claras, a excepción del Zr (r=0,84) y en menor medida Ce (r=0,47), Y (r=0,35) y Rb (r=0,25) que muestran una cierta correlación positiva con el grado de diferenciación del conjunto.

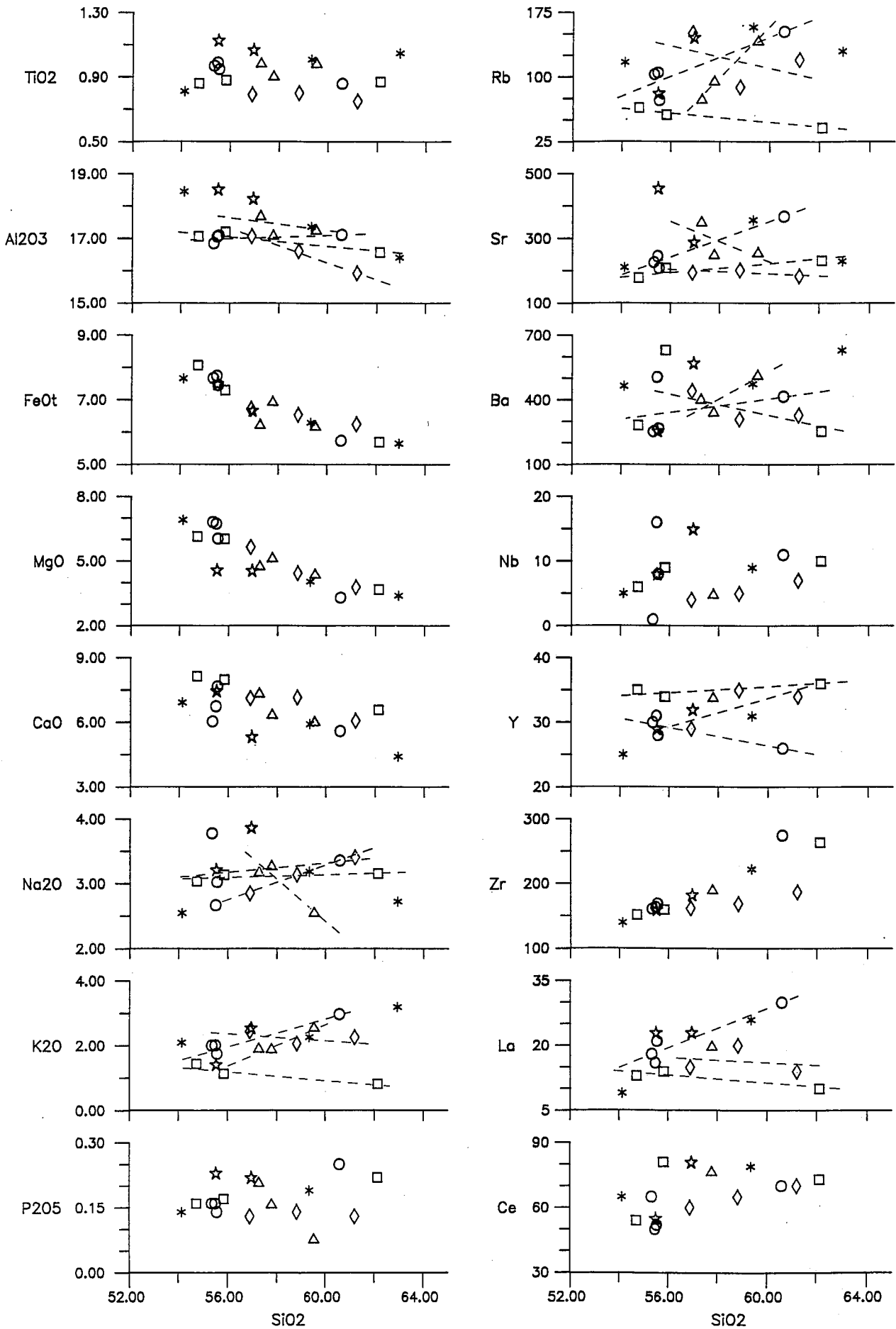
## Procesos de evolución magmática

La falta general de alineación composicional que presentan estos diques dificulta el reconocimiento del proceso diferenciador. Sin embargo, la evolución más o menos continua desde los términos más básicos a los cuarzdioríticos apunta la existencia de un proceso de diferenciación magmática. El mecanismo más probable podría ser el de cristalización fraccionada, pues en diferentes diagramas construidos según los métodos de Minster y Allegre (1978) y Cocherie (1985 y 1986) obtenemos pautas que confirman dicho proceso.

Basándonos en la posible existencia de este mecanismo evolutivo, hemos realizado modelos matemáticos que explican las diferencias observadas. Los ensayos se han efectuado en dos etapas. En la primera de ellas, y a partir de los elementos mayores de los diques, considerados como magma inicial (C<sub>0</sub>) y final (C<sub>1</sub>), y de las fases minerales presentes, se calcula el porcentaje de participación de cada fase, planteando una ecuación para cada elemento y resolviendo el sistema de ecuaciones mediante ajuste por míni-

Fig. 1.—Diagramas SiO<sub>2</sub>—Elementos. Haz Las Navas del Marqués-Villalba (Sector Villalba): triángulos. Haz Las Navas del Marqués-Villalba (Sector El Escorial): rombos. Haz El Caloco-La Pedriza: cuadrados. Haz Colmenar Viejo: círculos. Dique de dirección N-S: estrellas. Otros diques: asteriscos.

Fig. 1.—SiO<sub>2</sub>—Elements diagrams. Las Navas del Marqués-Villalba (Sector Villalba) swarm: triangles. Las Navas del Marqués-Villalba (Sector El Escorial) swarm: diamonds. El Caloco-La Pedriza swarm: squares. Colmenar Viejo swarm: circles. N-S dyke: stars. Other dykes: asteriks.



mos cuadrados, según el programa de Stormer y Nicholls (1978). De este modo se obtienen varios modelos posibles, según las fases minerales utilizadas, de los que se eligen como más probables aquellos que, además de ser coherentes geológicamente presenten los menores residuales. En la segunda etapa, se aplican los anteriores modelos a los elementos menores obteniendo, para un proceso de cristalización Rayleigh, las composiciones calculadas, que nos van a servir para seleccionar el modelo óptimo en función del máximo ajuste.

Mediante el procedimiento matemático anteriormente expuesto, hemos elaborado un modelo que explica el mecanismo evolutivo general de estos diques utilizando para ello los valores medios de las composiciones más extremas.

Los resultados obtenidos indican que las diferencias generales observadas entre los tipos gabroideos y dioríticos y los cuarzodioríticos podrían justificarse mediante la extracción de:

31,7% Plag. + 48,5% Anf. + 18,8% Biot. + 0,6% Clpx + 0,01% Cir., con una tasa de fraccionamiento de 38,46.

Ya hemos comentado con anterioridad la marcada dispersión de valores que esta asociación filoniana presenta. Sin embargo, comprobamos que los diques de un mismo enjambre y de sectores geográficos próximos muestran mayor alineación composicional, tanto en elementos mayores como en trazas, que la del conjunto en su totalidad (fig. 1). Observamos también, que cada haz de diques define trayectorias de variabilidad diferentes que podrían interpretarse asumiendo que la evolución ha sido distinta para cada grupo de diques considerado.

Por otra parte, vemos que los términos iniciales de cada una de estas trayectorias no convergen en un punto como cabría esperar si procedieran de un mismo líquido inicial (fig. 1). Por lo tanto, podríamos pensar que se trata de fundidos diferentes que evolucionan, además, de forma independiente.

Para estimar las diferencias entre los procesos de evolución, hemos realizado cuatro modelos en diques de diferentes haces:

- A. Haz Las Navas del Marqués-Villalba. Sector Villalba.
- B. Haz las Navas del Marqués-Villalba. Sector El Escorial.
- C. Haz El Caloco-La Pedriza.
- D. Haz Colmenar Viejo.

Cuadro I

Modelo	*C <sub>0</sub> -C <sub>1</sub>	Plag.	Anf.	Biot.	Clpx.	Residual	% Extracción
A	10-12	31	66	3	—	0,88	15
B	9-16	38	34	28	—	1,07	39
C	6-18	32	52	16	—	0,37	37
D	5-15	31	61	8	—	0,49	39
General		33	49	19	0,6	0,56	37

\* Números de análisis químicos recogidos en la Tabla 27 de Huertas (1990).

Los resultados obtenidos están expuestos en el cuadro I.

Observamos para cada caso, tasas de fraccionamiento cristalino ligeramente distintas. Las fases mineralógicas que justifican las diferencias composicionales entre los diques considerados son las mismas, pero los porcentajes de extracción, si exceptuamos el de la plagioclasa, son diferentes. Así en los diques situados en las inmediaciones de Villalba y Colmenar Viejo (Modelos A y D) el anfíbol se fracciona en proporción superior al 60%, mientras que la extracción de biotita no supera el 8%. Por el contrario, en los pertenecientes al Haz de El Caloco-La Pedriza y los situados en las proximidades de El Escorial la tasa de fraccionamiento de biotita es muy superior y diferente entre sí, aunque en ningún caso supera la proporción de anfíbol extraído. Estas diferencias en la participación relativa de anfíbol y biotita justifican las distintas pautas evolutivas observadas en los elementos trazas, especialmente marcadas en el Ba y Rb.

Si comparamos estos modelos matemáticos con el paso general que justifica la diferenciación a escala del conjunto, vemos analogías que confirman la participación de la plagioclasa y de los máficos hidratos en la evolución de estos diques, aunque, como era de esperar, las tasas de extracción de estas fases son una media de las obtenidas para los casos concretos y además, en este caso, una pequeña extracción de clinopiroxeno ajusta mejor el modelo.

### Discusión y conclusiones

La heterogeneidad geoquímica de los diques microdioríticos, puesta de manifiesto en la dispersión de valores que presentan sus elementos químicos en los diagramas de evolución, puede justificarse mediante procesos de cristalización fraccionada distintos según

el haz de diques considerado y el área geográfica en el que aflora. Las diferencias geoquímicas que existen entre los grupos de diques pueden ser debidas a heterogeneidades en los líquidos primarios motivadas, a su vez, por pequeñas variaciones en la composición del área fuente o en los procesos de fusión parcial de ésta. El hecho de que los cuerpos filonianos estudiados correspondan a enjambres separados entre sí por decenas de kilómetros, e incluso las posibles diferencias de edad entre sus momentos de intrusión, son datos que apoyan esta interpretación.

Por otra parte, parece probable que los pórfidos granitoideos, a los cuales se asocian los diques microdioríticos, se hayan generado también a partir de líquidos primarios distintos, pues la dispersión de valores que presentan refleja la existencia de una asociación compleja de tipos pertenecientes a varias tendencias aluminocafémicas y aluminicas (Casillas y Peinado, 1988; Huertas, 1990). Esta interpretación estaría además en consonancia con las investigaciones realizadas por Doblas *et al.* (1988) en pórfidos graníticos pertenecientes a enjambres de dirección E-W, en las que los autores deducen sentidos de flujo distintos para cada haz apuntando la probable existencia de varias cámaras magmáticas funcionando de forma más o menos conjunta y simultánea.

### Agradecimientos

Agradecemos a los Drs. J. M. Fuster y C. Villaseca la revisión crítica del manuscrito. Este trabajo se enmarca en los objetivos de los proyectos Complutense nº 1.390 y CICYT PB99-0117.

### Referencias

Casillas, R. y Peinado, M. (1988): *Geociencias*, Aveiro, 3; 35-43.

Cocherie, A. (1985): *Docum. BRGM*, 90; 246 pp.  
 Cocherie, A. (1986): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50; 2.517-2.522.  
 Debon, F. y Le Fort, P. (1983): *Trans. R. Soc. Edimburgh: Earth Sci.* 73; 135-149.

Doblas, M.; Ubanell, A. G. y Gómez Mayor, J.; *Cuad. Lab. Xeolox. Lax.*, 12; 193-205.  
 Huertas, M. J. (1990): Tesis Doctoral. UCM; 335 pp.  
 Minster, J. F. y Allegre, C. J. (1978): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68; 37-52.

Stormer, J. C. y Nicholls, J. (1978): *Comput. Geoscienc.* 4; 143-159.

Recibido el 30 de enero de 1991  
 Aceptado el 1 de marzo de 1991

# Análisis de enjambres de diques radiales utilizando un método matemático

## *Analysis of radial dyke swarms using mathematical method*

J. L. Brandle<sup>1,2</sup>; E. Ancochea<sup>1,2</sup>; C. R. Cubas<sup>3</sup> y F. Hernan<sup>3</sup>

1.—U.E.I. de Petrología. Inst. Geología Económica C.S.I.C. Fac. Cc. Geológicas. 28040-Madrid.

2.—Dpto. de Petrología y Geoquímica. Facultad Cc. Geológicas, U. C. M. 28040-Madrid.

3.—Dpto. de Edafología y Geología. Facultad Ciencias, Univ. La Laguna.

### ABSTRACT

*It is proposed, a computer program to help to the interpretation of radial dykes swarms and locate the possible emission zones, using the analysis of theoretical intersection of the dykes, considered as straight lines on an intersecting horizontal plane.*

**Key words:** *Radial dyke swarms, mathematical method, volcanology.*

*Geogaceta*, 10 (1991); 97-100.

### Introducción

Un gran número de edificios volcánicos de cierta entidad suelen ir acompañados de sistemas de diques, cónicos, radiales, paralelos, etc. Tenemos un ejemplo de uno de estos casos en el sistema de diques cónicos, de composición sálica, de Gran Canaria (Schmincke, 1967, Hernán, 1976) para el cual, Hernán y Vélez (1980) desarrollan un modelo para estimar estadísticamente la profundidad del foco de emisión, proyectando el vector generatriz de los planos (diques) y considerando que la misma vendría dada por la del plano en la que la dispersión de los puntos de corte de las generatrices es mínima.

El problema de los diques radiales se pueden simplificar si son (o se consideran) verticales, pues entonces pueden ser considerados como planos, y sus intersecciones en un plano de referencia horizontal dan lugar a las rectas objeto de tratamiento.

En la isla de Fuerteventura, donde los autores realizan un proyecto de investigación sobre la Serie I o Antigua

(Fúster *et al.*, 1968), son frecuentes los diques esencialmente basálticos, cuya distribución no es ni mucho menos homogénea. La existencia de diferentes edificios volcánicos ha sido definida en la Isla utilizando criterios estratigráficos, cronológicos, y petrológicos (Ancochea *et al.*, 1990). Los diques, si siguen una pauta radial, pueden también ayudar a definir posibles edificios y a situar aproximadamente sus posiciones.

Lo que exponemos a continuación no tiene como objeto interpretar o explicar la evolución de los edificios de la Serie I de Fuerteventura, que será tratado en un trabajo posterior más amplio, sino con los datos tomados exponer, con la brevedad que exige esta comunicación, la metodología empleada para resolver tal tipo de problemática.

### Método

Los diques quedan definidos por su dirección y las coordenadas del lugar donde se realizó la medida. No es ne-

cesario tener en cuenta otros parámetros, como la altura, ya que como se expuso anteriormente, todos los diques pueden considerarse como rectas en un mismo plano.

En el caso teórico de un foco de emisión puntual todos los diques (rectas) convergerían en dicho punto. La cantidad de variables que pueden modificar el que este foco sea puntual: tamaño no puntual del propio foco, variación de posición en el tiempo, anisotropía de las rocas, condiciones estructurales del momento, etc., o complicar su identificación: procesos tectónicos, erosión posterior, fosilización por materiales más recientes, solapamiento de diferentes sistemas de diques generales o locales etc., hacen que en la realidad, deba considerarse el foco como un sector o área y no como un punto.

Los «N» diques tratados generarían  $N \times (N-1)/2$  intersecciones. El método se basa en suponer que todos los diques convergen en un sector, que puede ser considerado como el foco, y que viene definido por la zona donde el número de intersecciones es máximo.