



Mecanismos de diferenciación ígnea en diques de pórfido

Igneous differentiation in porphyry dikes

VILLASECA, C. y HUERTAS, M. J.

Se aborda de manera teórica los principales procesos operativos de diferenciación ígnea en secciones transversales de los conductos filonianos, aplicándolo a los diques de pórfido granítico s. l. del Sistema Central Español.

Para estos magmas se deduce un régimen de flujo marcadamente laminar en el conducto (≤ 30 mts. potencia). Estos caracteres impiden tanto la efectividad de fraccionamiento cristalino «in situ», como grados importantes de asimilación o contaminación en ruta hacia la superficie.

Los diques simples, de flujos isoviscosos, van a diferenciarse por fenómenos, principalmente, de flujo ígneo, en ocasiones combinado con la presencia de varios magmas fluyendo a la vez en el mismo pulso (conductos gruesos o flujos veloces). Con estos mecanismos se tenderá a generar evoluciones del tipo félsico a máfico, de borde a centro del dique de pórfido.

Los diques compuestos se formarán cuando los magmas son suficientemente contrastados en sus caracteres físicos (viscosidad, p. ej.) y químicos, o cuando son varios pulsos magmáticos a través del mismo conducto. En estos casos podría haber fenómenos de mezcla magmática si la diferencia de viscosidad es alta y uno de esos magmas es poco viscoso (magmas básicos). En estos casos podrían generarse zonas básicas en el borde, o no, de los diques de pórfido.

En resumen la diferenciación de flujo, la mezcla magmática y la asociación de varios líquidos fluyendo en el mismo conducto (de manera simultánea o por pulsos magmáticos algo separados en el tiempo), parecen ser los mecanismos de diferenciación ígnea más efectivos de estos magmas graníticos que fluyen en angostos conductos filonianos.

Palabras clave: Diques de pórfido, diferenciación ígnea, viscosidad y densidad de magmas, variaciones de centro a borde en diques, Sistema Central Español.

We deal in theoretical way with the main differentiation processes taking place in dike conducts, applied to the porphyry dikes of the Spanish Central System. For these magmas we infer a strong laminar flow regime (≤ 30 m dike width). This, prevent an efficient «in situ» cristal fractionation as well as large extent of

assimilation-contamination processes during the ascent of the magmas «en route» to more surface levels.

Simple dikes, with isoviscous flow, could differentiate mainly by igneous flow. Sometimes this mechanism is combined with the possibility of several magmas flowing together on the same pulse (thick dikes or fast flows). With these mechanisms felsic to mafic evolutions are favoured inward the porphyry dike.

Composite dikes are formed when magmas are contrasted enough in their chemical or physical features (p. e. viscosity), or when different magmatic pulses occur in the same channel. In these conditions commingling of magmas could exist if the viscosity ratio is high and one of the magmas is very fluid (basic one). These processes could generate basic margins in the porphyry dikes.

In short, flow differentiation, magmatic mixing and flowing of associated magmas (simultaneously or by successive pulses), seem to be the more efficient differentiation mechanisms for granitic magmas flowing in narrow dikes.

Key words: Porphyry dikes, igneous differentiation, magma density and viscosity, chemical variations across the dikes, Spanish Central System.

VILLASECA, C. y HUERTAS, M. J.

(Dpto. de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas. 20040 Madrid)

INTRODUCCION

El objeto del trabajo consiste en la revisión teórica de los posibles procesos de diferenciación ígnea «efectivos» de magmas granitoídicos en ruta hacia la superficie, a través de conductos tabulares filonianos. Para ello hemos seleccionado como ejemplos de estudio los pórfidos cuaríferos s. l. del Sistema Central Español emplazados en momentos tardiorogénicos claramente distensivos del Hercínico Ibérico. La aparición conjunta, aparentemente simultánea, de magmas básicos en los conductos (microdioritas, HUERTAS, M. J., 1986), nos obliga a distinguir dos grandes tipos de emplazamiento filoniano: los diques de flujo más o menos isoviscoso (diques simples, s. l.) y los diques de flujos mixto (diques compuestos, s. l.). Estos hechos nos conducen por otra parte a suponer la existencia de una cámara magmática zonada, al menos con dos grandes tipos magmáticos en diverso grado de fraccionamiento: magmas graníticos volumétricamente dominantes (>90 % superficie diques aflorantes), y magmas dioríticos con

menor grado de diferenciación. Los datos geoquímicos existentes en la actualidad parecen más compatibles con la definición de dos series magmáticas petrogenéticamente distintas, interaccionando entre sí (HUERTAS, M. J. y VILLASECA, C., 1987).

El trabajo está centrado, particularmente, a los fenómenos de variabilidad química posibles de borde a centro de un dique, aunque los mecanismos de diferenciación fueran más operativos en secciones longitudinales del conducto. Obviamente no se tratarán los fenómenos de metamorfismo hidrotermal que afectan variablemente a todas estas rocas filonianas y a su encajante inmediato.

CARACTERES DEL FLUJO MAGMÁTICO

Las características del flujo de un magma a través de un conducto tabular (dique) condicionan en gran medida, como iremos analizando, las posibilidades de desencadenamiento de un determinado proceso evolutivo de diferenciación ígnea. Vamos a tra-

tar pues, como primer paso, de estimar las condiciones de flujo magmático en estos diques atendiendo a su composición química (Tabla I). Los cálculos de densidades y viscosidades teóricas de estos magmas están basadas en los métodos de BOTTINGA, Y. y WEILL, D. F. (1970) y SHAW, H. R.

(1972), para temperaturas comprendidas entre 700-900 °C y fundidos subsaturados en H₂O (aproximadamente 3 % en peso).

La naturaleza del flujo en un dique puede ser precedida por el número de Reynolds, que para un magma en ascenso empujado por su sola boyancia (contraste de

TABLA I
Estimación del flujo magmático en diques

	1	2	3
SiO ₂	75.41	68.76	56.26
Al ₂ O ₃	12.89	14.99	17.42
Fe ₂ O ₃	1.09	3.60	6.83
MnO	0.04	0.08	0.11
MgO	0.09	0.76	4.73
CaO	0.30	2.60	7.25
Na ₂ O	3.44	3.23	3.13
K ₂ O	4.74	4.00	1.91
TiO ₂	0.01	0.51	0.97
P ₂ P ₅	----	0.14	0.21
H ₂ O	0.83	0.77	1.66
TOTAL	98.84	99.44	100.48
Densidades (gr/cm ³)	2.37	2.46	2.68
Viscosidades (poises)	10 ⁹	10 ⁶	10 ⁴
N.º Reynolds (diques en mts)			
1	2.8 × 10 ⁻⁵	2.8 × 10 ⁻²	3
3	1.4 × 10 ⁻⁴	1.5 × 10 ⁻¹	15
10	9 × 10 ⁻⁴	9 × 10 ⁻¹	94
30	4.6 × 10 ⁻³	4.7	485
100	2.8 × 10 ⁻²	28	2985

1. Pórfido leucogranítico
2. Pórfido adamellítico
3. Microdiorita

Datos de BRANDEBOURGER, E. (1984)

densidades), sería (en CAMPBELL, I. H., 1985).

$$R_e = \left(\frac{g \Delta \rho}{K \rho} \right)^{1/2} d^{3/2} \nu^{-1}$$

siendo g la aceleración de la gravedad (980 cm/seg^2), ρ la densidad teórica del magmas, K un coeficiente de fricción (se estima 0.03 como valor intermedio, HUPPER, H. E. y SPARKS, R. S. J., 1985), d la anchura del dique, ν la viscosidad cinemática del magma, y $\Delta \rho$ el contraste de densidad medio entre el magma ascendente y el encajante a lo largo del recorrido filoniano (0.01 gr/cm^3 , es un valor conservador).

Teniendo en cuenta que la anchura de los diques de pórfidos granitoideos oscila entre 3 y 40 mets, mientras que los diques microdioríticos es de 1 a 3 mts es evidente que existe un marcado flujo laminar en los conductos utilizados por los magmas graníticos, con mayor tendencia a la inestabilidad, sin llegar a ser turbulento ($R_e < 2000$), para los fundidos microdioríticos (Tabla I).

En realidad el contraste de flujo es mucho más marcado entre ambos fundidos, granítico y diorítico, debido al mayor índice de porfirismo presentado por los magmas ácidos. En estos casos la viscosidad efectiva sería proporcional al porcentaje de cristales en suspensión (ROSCOE, R., 1953).

$$\eta_e = \eta (1 - 3.5\Phi)^{-2.5}$$

Teniendo en cuenta que los pórfidos graníticos tienen un índice de porfirismo (ϕ) de aproximadamente 0.4 (las microdioritas tienen $\phi < 0.1$, HUERTAS, M. J., 1986), la viscosidad «real» aumentaría 7 veces su valor (o proporcionalmente, R_e disminuiría igualmente), es decir el flujo laminar podría ser aún más marcado.

Una primera aplicación de estos cálculos

sería que al ser el flujo marcadamente laminar en los pórfidos graníticos, existirían escasas probabilidades de grados de asimilación-contaminación apreciable de material encajante (CAMPBELL, I. H., 1985). En estos casos la formación de límites laminares enfriados, paralelos al contacto del conducto, previenen del poder «erosivo» (termal y físico) que un régimen turbulento provocaría en los bordes del dique. Así los escasos microenclaves y cristales xenolíticos en pórfidos, podrían deberse a fenómenos de fragmentación tectónica del encajante o provendrían de la cámara, pues parece poco probable que los adquirieran en su recorrido por el dique. Este hecho contrasta con la cierta asiduidad de xenocristales de cuarzo con coronas máficas reaccionales en diques microdioríticos, que como puede suponerse de su distinta dinámica de flujos, podrían tener cierto poder erosivo en locales fenómenos de turbulencia.

Igualmente por el carácter de flujo laminar de los pórfidos es impensable la posibilidad de fusión importante del encajante, lo que concuerda con la escasa transformación del mismo (escasos centímetros de la roca caja muestran manifestaciones de contacto reducidas a cierta milonitización e hidrotermalización local).

Debido a la alta viscosidad de estos magmas graníticos y al empuje del propio flujo laminar en estos conductos angostos, la efectividad de cristalización fraccionada «in situ» es enormemente reducida. Conviene llamar la atención sobre este punto porque diques y sills potentes de magmas toleíticos, más fluidos, conllevan frecuentemente fenómenos de fraccionamiento in situ, que originan bordes básicos más primitivos, transitando hacia interiores más diferenciados (p. ej. STEELE, K, F. y RAGLAND, P. C., 1976).

No es éste el caso de los magmas que nos ocupa, muchísimo más viscosos y que transportan cristales más ligeros (cuarzo, feldspatos, micas) que aquellos, para que existe

posibilidad de sedimentación efectiva de los mismos.

Finalmente, no se observan en estos diques fenómenos apreciables de inmiscibilidad magmática, ocelos o glóbulos similares, ciertamente algo más frecuente a pequeña escala en tipos más alcalinos.

DIQUES SIMPLES

Nos referimos a comportamientos aproximadamente isoviscosos de un magma por un conducto, normalmente referidos a un

solo momento de inyección magmática que en su travesía por el conducto filoniano tenderán a diferenciarse, entre otros, por fenómenos de flujo ígneo.

Podrían distinguirse varios casos, dependiendo de la velocidad del flujo (Fig. 1).

En el caso 1a el conducto es estrecho y sinuoso, característico de condiciones próximas al colapso o finalización del flujo ígneo (proximidades a velocidades nulas de flujo) y no existen fenómenos importantes de diferenciación magmática a escala del dique. Ocurre con frecuencia en diques satélites de un dique principal o en zonas de angosta-

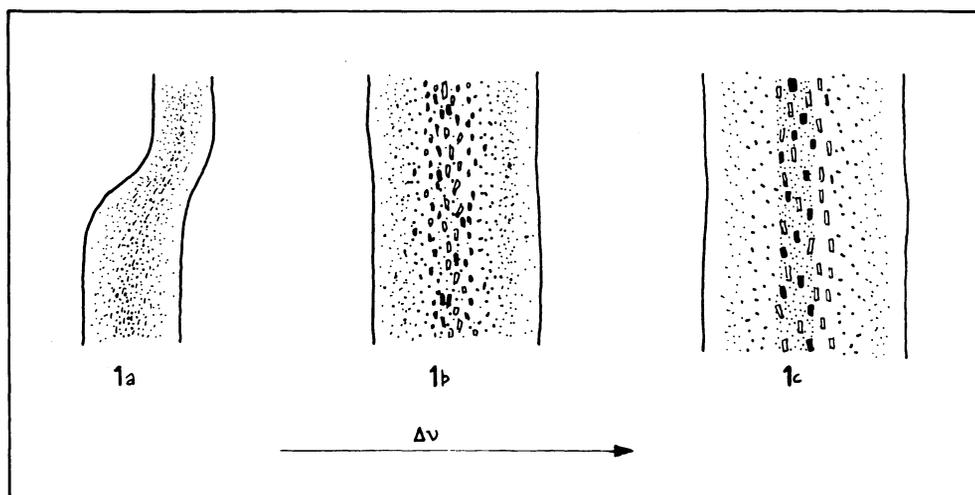


Fig. 1. Esquemas de diques simples. En 1a la dinámica de flujo es casi nula y existe escasa diferenciación, salvo marginales bordes vitrificados. En 1b hay un único líquido con proporciones distintas de cristales que explicarían variaciones de borde ácido a centro más básico (diferenciación por flujo s.s.). En 1c existen más de un magma fluyendo por el dique. La velocidad de flujo aumenta de 1a a 1c.

miento filoniano donde la masa ígnea pierde fluidez por progresiva solidificación rápida del fundido.

En estos casos de estanqueidad del flujo laminar ígneo, y combinado con la progresiva cristalización del magma granítico hacia el centro del dique, parece que uno de los escasos procesos de diferenciación ígnea operativo podría ser la difusión y distribución de componentes químicos hacia las zonas vítreas del borde de enfriamiento rápido. En estos bordes podría haber contraste

en sílice y elementos incompatibles en comparación con las zonas más cristalinas o algo más tardías del interior (ROSS, M. E., 1983). Siempre queda la duda de la efectividad de estos procesos debido a la escasa movilidad de los cationes (p. ej. los desplazamientos teóricos de Ca, Sr y Ba realizados por KRETZ *et al.*, 1985, dan valores de 5-10 cmts máximo, en diques de 5-30 mts de potencia), y a la alta velocidad de solidificación de magmas muy viscosos en diques estrechos (DELANEY, P. T. y POLLARD,

D. D., 1982, estiman en horas la completa solidificación de un dique granítico de 2 mts aproximadamente de potencia). Es indudable que el estudio detallado de las facies esferulíticas (antiguos vidrios, habida cuenta la edad Pérmica probable de estos diques), podrían explicar algunas pautas de variabilidad química en diques, como se ha demostrado en otras manifestaciones filonianas (p. ej. ROSS, M. E., op. cit.).

El caso 1b (Fig. 1) sería el típico ejemplo de diferenciación por flujo en diques, con evolución progresiva y gradual del contenido, tamaño y orientación de sólidos suspendidos, de borde a centro del dique (KOMAR, P. D., 1976; ROSS, M. E., 1986).

Como en el caso 1a, se generan facies milimétricas a escasos centímetros, de un borde vítreo de enfriamiento en paso gradual con el resto de la masa filoniana. El heteromorfismo del dique supondría que el líquido sería el mismo de borde a centro y lo único que variaría serían las proporciones de fracción sólida suspendida (de igual composición en toda la sección transversal del dique), en equilibrio con aquel. Como es lógico suponer, en este caso se desarrollaría un borde más ácido que el centro, que transitaría evolutivamente a composiciones intermedias, que en cierto modo, reflejarían las pautas de cristalización fraccionada a escala de cámara magmática (Fig. 2).

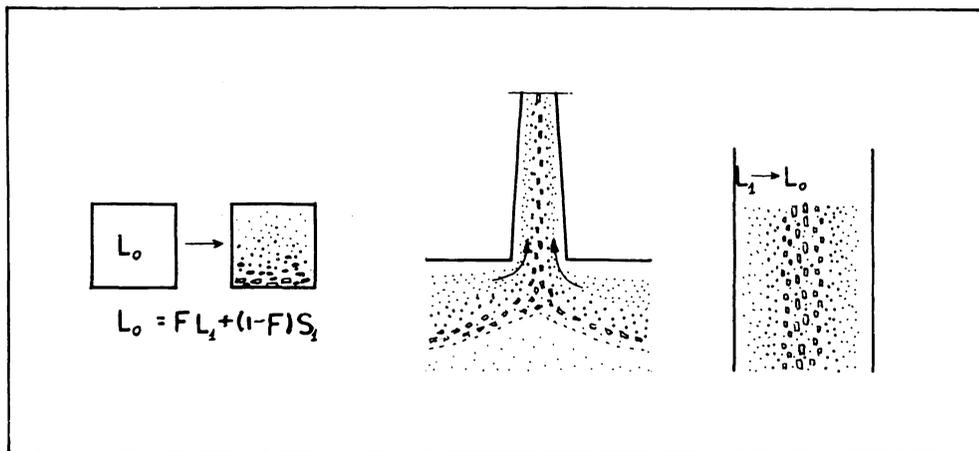


Fig. 2. La diferenciación por flujo de un dique puede reproducir los mecanismos de fraccionamiento cristalinico de la cámara. En las secciones transversales del conducto hay una evolución de líquido 1 (borde) a líquido 1 + cristales suspendidos (centro).

$$L_1 + S_1 \rightarrow L_0$$

El proceso de diferenciación por flujo obliga a que un único líquido en el conducto vaya clasificando la fracción sólida suspendida de forma que en las áreas centrales, de mayor velocidad, se concentren los cristales mayores y/o más densos. Podría ocurrir que hubiera una cierta selección mineralógica en la salida del dique: fases minerales menos desarrolladas que otras (por ser más tardías o accesorias), o, a igualdad de tama-

ño, contrastes de densidad o morfología. En estos casos la variabilidad geoquímica transversal sería algo irregular, pero de cualquier forma, correlativa con la proporción y naturaleza de las fases minerales en suspensión.

En el caso 1c (Fig. 1) existe la posibilidad de formación de un cierto contacto «geoquímico», más o menos marcado, entre una facies de borde enfriada y una facies de centro, volumétricamente mayoritaria, con

diferenciación de flujo variable. Es fácil imaginarse la creación de un borde enfriado en progresiva solidificación, y un transporte laminar de magma granítico en el interior que si presenta una velocidad importante de flujo puede provocar diferencias bruscas («no graduales») entre el borde pseudovítreo aislante y la masa principal de magma ascendente, progresivamente distinto.

Si suponemos su origen en un pulso único, estos bordes serán también de composición «necesariamente» más ácida o diferenciada que el volumen magmático interior que transporta cantidades significativamente mayores de cristales previamente formados, aunque sean en equilibrio termodinámico con el líquido que los envuelve. En cierto modo es como si hubiera algunos «saltos evolutivos» o incluso tendencias «acumulativas» en circunstancias de flujos con mayor caudal o de mayor empuje (o simplemente en conductos mayores).

También es evidente que a medida que aumenta la velocidad del flujo ígneo (por variaciones intrínsecas al fundido o por cambios en la geometría del conducto) existe la posibilidad de introducción simultánea por el dique de fundidos que representan bien distintos niveles de la cámara magmática estratificada (pero de comportamiento aproximadamente isoviscoso) o bien mezclas magmáticas de líquidos y sólidos en no equilibrio (termodinámico y químico), que complicarían estos esquemas.

Un ejemplo de dique de pórfido con variaciones geoquímicas no graduales desde un borde ácido a un centro más básico es el dique de la Pata de la Vaca en Segovia, estudiado por FUSTER, J. M. e IBARROLA, I. (1953). Aunque por los datos petrográficos visibles parecería dominante un proceso de diferenciación por flujo ígneo (véase la Fig. 3 de la op. cit.) lo cierto es que la variabilidad química del dique se explicaría mejor con la existencia combinada de diversos líquidos (isoviscosos) fluyendo simultáneamente de forma laminar (Fig. 3). Otros casos semejantes se citan también en

la literatura (p. ej. DUNLEVEY, J. N., 1981).

Sólo en el caso de presencia de cristales metaestables de etapas más avanzadas de diferenciación en la cámara, o por introducción de líquidos progresivamente más ácidos, podrían generarse pautas inversas de borde más básico que el centro, respecto a las que normalmente se originarían por diferenciación de flujo.

De cualquier forma, la presencia en el conducto de líquidos progresivamente diferentes, simultáneos o debidos a pulsos magmáticos distintos, se imbrica con la problemática que pretendemos desarrollar en el epígrafe siguiente.

Es muy probable que un mismo conducto presente evolutivamente, a distintos niveles corticales, diversas combinaciones de estos mecanismos de diferenciación, en condiciones intermedias o sólo aproximadas a las aquí expresadas.

DIQUES COMPUESTOS

En estas condiciones se inyectan a favor del mismo conducto dos o más fundidos ígneos contrastados que pueden o no interactuar entre sí dependiendo del grado de contemporaneidad y de las propiedades magmáticas de ambos materiales.

En los diques estudiados hemos encontrado los siguientes casos significativos (Fig. 4).

Localmente se encuentran algunos ejemplos de hibridación con magmas dioríticos que intruyen simultáneamente por los mismos conductos (HUERTAS, M. J., 1986). En estos casos se observa una facies mixta, no necesariamente de carácter brechoidal, de roca con caracteres petrográficos (poblaciones diferentes de fenocristales) y geoquímicos, intermedia entre la microdiorita y el pórfido granítico. Parece determinante tanto la ausencia de una facies de enfriamiento «protectora de contaminación» entre ambos fundidos (simultaneidad), co-

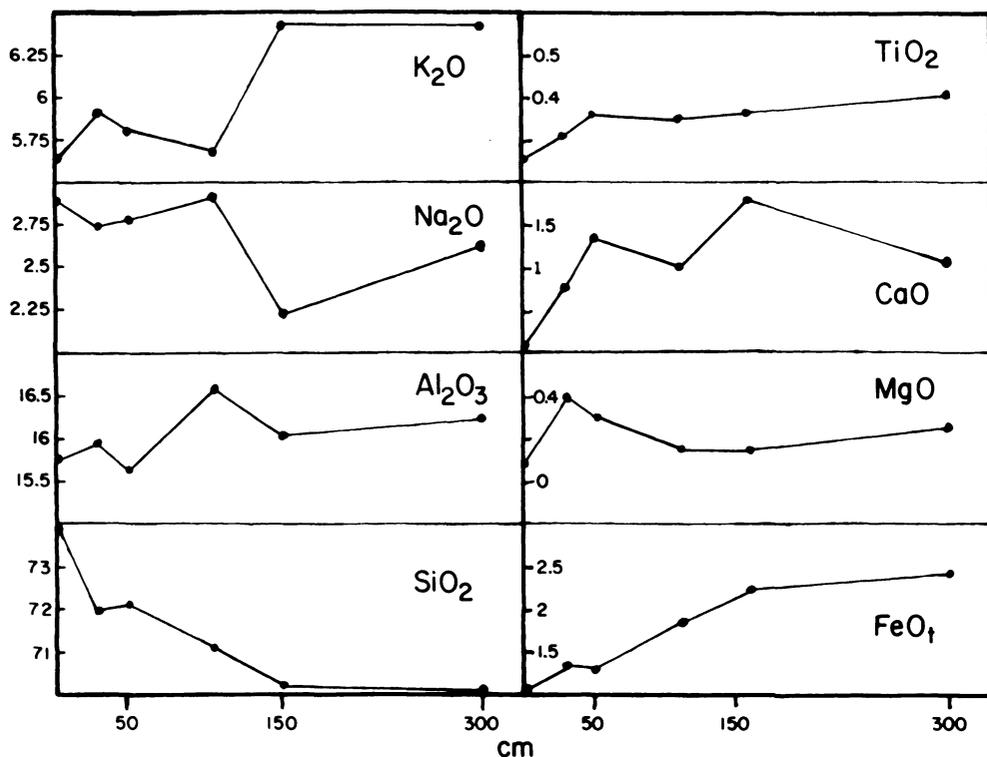


Fig. 3. Variabilidad geoquímica del dique de pórfido de la Pata de la Vaca según nos alejamos del borde (datos de FUSTER, J. M. e IBARROLA, E., 1953). Hay una zona intermedia (30 a 160 cmts hacia el interior), cuyas variaciones no se corresponden proporcionalmente con el contenido y naturaleza de los fenocristales presentes. Podría representar diferenciaciones de flujo combinadas con varios fundidos graníticos fluyendo simultáneamente.

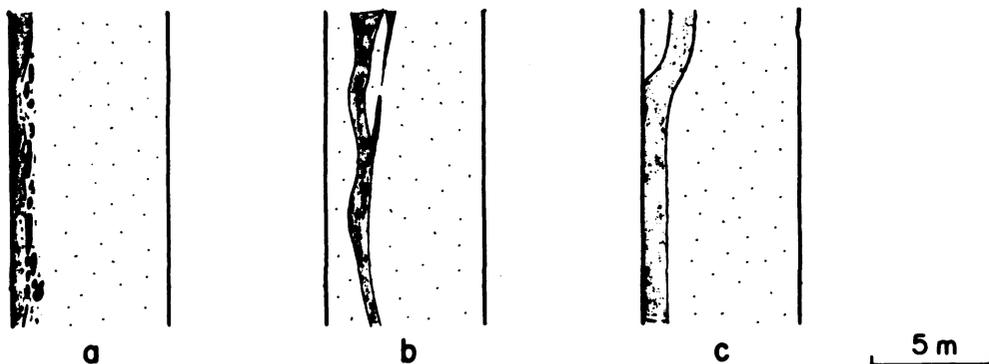


Fig. 4. Esquema de diques compuestos. En 4a dique mixto con zona híbrida localizada. En 4b dique múltiple de aspecto simultáneo, sin mezcla significativa. En 4c hay dique múltiple o compuesto de distintos pulsos magmáticos.

mo la baja viscosidad del fundido básico y su tendencia a la turbulencia en este encajante plástico, como desencadenante de la mezcla magmática.

En la actualidad se sabe que dos fluidos miscibles de diferente viscosidad que atraviesan simultáneamente (aproximadamente de forma concéntrica) un conducto, pueden mezclarse cuando el líquido menos viscoso supera un número mínimo de Reynolds ($R_e > 3$), para proporciones entre 10% y 90% de fluido más viscoso (BLAKE, S. y CAMPBELL, I. H., 1986). Es decir, en diques compuestos se adquiere un régimen turbulento a menores condiciones que en flujos isoviscosos.

En los diques de la Sierra de Guadarrama estos valores mínimos del número de Reynolds se adquieren con 1 mt de potencia de magma microdiorítico intruyendo simultáneamente con pórfido (Tabla I).

También el contraste de viscosidad (es decir, de dinámica de flujos) es determinante para el desencadenamiento de mezclas ígneas. Según los datos de BLAKE, S. y CAMPBELL, I. H. (op. cit.) para unos flujos de volumen (\cong caudales) de aproximadamente $10^3 \text{ m}^3/\text{seg.}^*$, se obtendrían flujos inestables (con turbulencia y mezcla magmática efectiva), sólo para magmas con contrastes viscosos mayores de 100 ($U = \eta_o/\eta_i$, $o =$ Líquido viscoso, $i =$ Líquido fluido). Estas condiciones de R_e , U y Q las cumplen los diques de pórfidos y microdioritas de la Sierra de Guadarrama (Fig. 5), por lo que resultan operativos los fenómenos de mezcla magmática entre ambos, cuando intruyen simultáneamente por el mismo conducto (Fig. 6).

En el caso de progresiva ausencia de simultaneidad intrusiva, a favor del mismo conducto, las probabilidades de mezcla son menores (caso 4c, Fig. 4). O aunque fueran aproximadamente simultáneos, la ausencia de un contraste marcado de viscosidad (como es el caso de contrastes entre pórfidos granodioríticos y graníticos) impedirían fenómenos apreciables de mezcla ígnea (caso

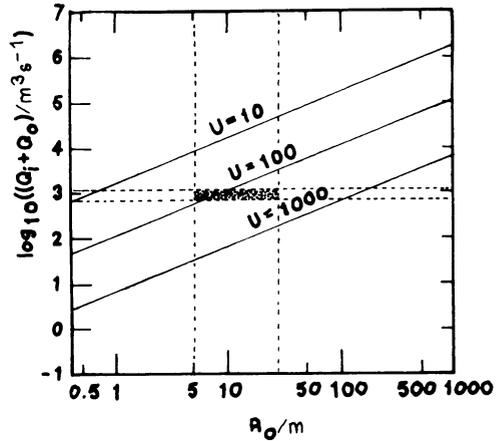


Fig. 5. Diagrama binario de flujo total ($Q_i + Q_o$) contra potencia del conducto (R_e) para $R_{e,i} = 3$ (tomado de BLAKE, S. y CAMPBELL, J. H., 1986). Para la naturaleza del flujo de pórfidos (ver texto) las condiciones serían inestables a partir de $U \geq 100$. Condiciones que se proyectan por encima de la línea (de contraste de viscosidad) apropiada, serán inestables o turbulentos.

4b, Fig. 4). Diques múltiples, más o menos simultáneos, son frecuentes en los haces microdioríticos de Charca Verde en La Pedriza de Madrid (Fig. 7), donde es evidente la ausencia de fenómenos apreciables de mezcla ígnea.

En definitiva, con estos mecanismos podrían explicarse algunos bordes o zonas «básicas» de algunos diques de pórfido. Podrían referirse a diques múltiples en los que el diquecillo más básico, que no genera bordes enfriados significativos (y por ello difícil de precisar el carácter múltiple de la intrusión), intruye paralela o concéntrica, pero en conductos más angostos debido a sus caracteres mucho más fluidos, con los pórfidos graníticos.

* Estimado a partir de la ecuación 6 de dichos autores, para conductos de dimensión $R = R_i/R_o = 1/10 \text{ m}$ ($\cong 90\%$ en volumen es magma granítico).



Fig. 6. Dique mixto en las proximidades de Navas del Marqués (Avila). Por el borde (parte superior foto) fluiría un magma microdiorítico que se hibrida con el magma granítico del centro originando una banda de caracteres intermedios con mezcla de ambos. Escala aproximada de la foto: 25 cms.

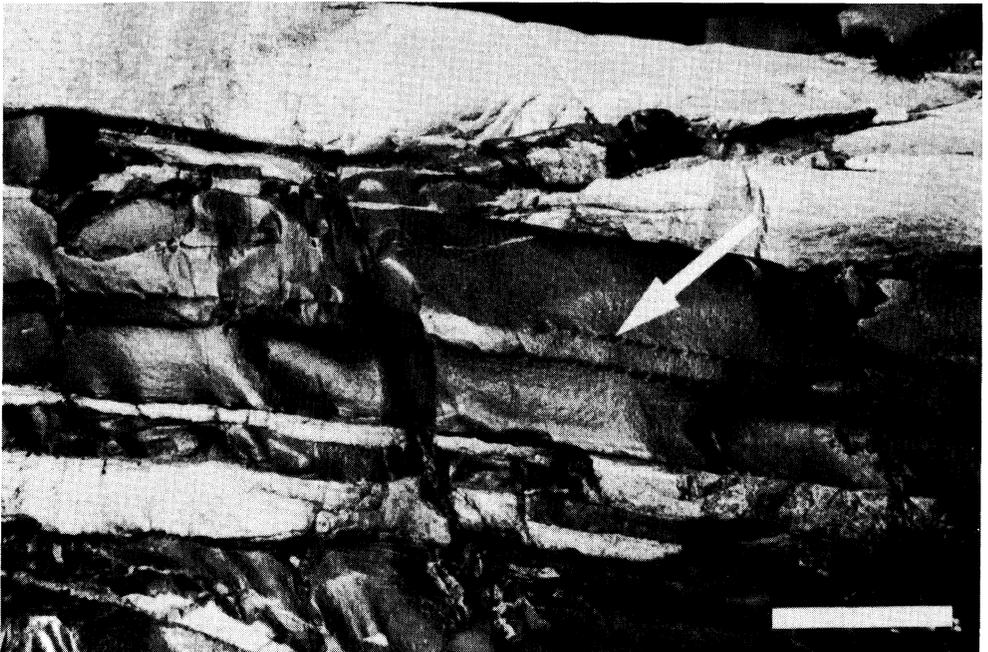


Fig. 7. Dique múltiple de La Charca Verde (Madrid). Dos magmas microdioríticos intruyen por el mismo conducto sin mezclarse (flujos isoviscosos). Aparentemente no parecen simultáneos pues el diquecillo menor presenta un ligero borde enfriado. Escala aproximada de la foto: 50 cms.

CONCLUSIONES

En los diques de pórfido no parece posible la existencia de fenómenos significativos ni de cristalización fraccionada in situ (aunque algunas de las pautas geoquímicas que presenten puedan ajustarse a estos modelos teóricos), ni de asimilación o contaminación significativa del encajante que atraviesan. Sólo los fenómenos propios de dinámica de estos flujos magmáticos, a través del conducto, parecen ser determinantes de su variabilidad geoquímica.

Así, al menos teóricamente, parece lógico suponer que la aparición de bordes ácidos en los diques porfídicos sean fenómenos frecuentes debido a la efectividad de la diferenciación de flujo de los magmas graníticos «en ruta» por el conducto filoniano.

La presencia de bordes básicos podría indicar fenómenos de inyección múltiples, simultánea o no, de magmas de composición contrastada que pueden hibridarse localmente.

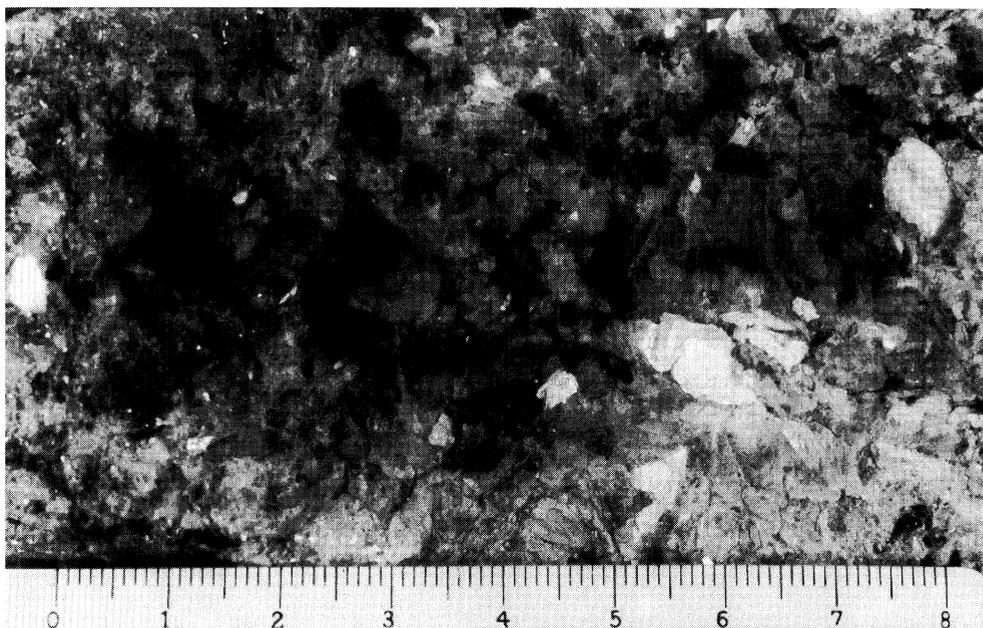
Por otra parte, la existencia de diversos pulsos magmáticos a través del conducto, o flujos en conductos muy potentes (o de alta velocidad), pueden provocar irregularidades en la diferenciación geoquímica del dique.

En conclusión, sólo un detallado y conciso estudio petrográfico y geoquímico del heteromorfismo de un dique puede resolver el carácter sencillo o múltiple de la inyección, y ayudar a comprender el proceso de diferenciación ígnea más convincente para cada caso.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la labor de mecanografía realizada por F. Luna y la fotografía de E. Alegre.

Recibido, 5-II-88
Admitido, 2-V-88



BIBLIOGRAFIA

- BLAKE, S. & CAMPBELL, J. H. (1986). «The dynamics of magma-mixing during flow in volcanic conduits». *Contrib. Miner. Petrol.*, 94, 72-81.
- BOTTINGA, Y. & WELL, D. F. (1972). «The viscosity of magmatic silicate liquids: a model for calculation». *Amer. Jour. of Sci.*, 272, 438-475.
- BRANDEBOURGER, E. (1984). «Les granitoides hercyniens tardifs de la Sierra de Guadarrama (Système Central, Espagne)». *These Doctoral*. Univ. Lorraine. 209 pp.
- CAMPBELL, J. H. (1985). «The difference between oceanic and continental tholeites: a fluid dynamic explanation». *Contrib. Miner. Petrol.*, 91, 37-43.
- DELANEY, P. T. & POLLARD, D. D. (1982). «Solidification of basaltic magma during flow in a dike». *Am. Jour. Sci.*, 282, 856-885.
- DUNLEVEY, J. N. (1981). «The quartz porphyry dykes of the Franschoekberg tunnel». *Am. Univ. Stell. Ser. Al.*, 3, 349-426.
- FUSTER, J. M. & IBARROLA, E. (1953). «Pórfidos y lamprófidios magmáticos de La Granja (Segovia). Rocas de España Central. IV.» *Estudios Geol.*, 9, 193-224.
- HUERTAS, M. J. (1986). «Pórfidos y diques básicos asociados en la Sierra de Guadarrama». *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 10, 245-260.
- HUERTAS, M. J. & VILLASECA, C. (1987). «Caracterización geoquímica de los pórfidos y diques asociados de la Sierra de Guadarrama». *II Congreso Nac. Geoquímica*, 205-209.
- HUPPERT, H. E. & SPARKS, R. S. J. (1985). «Cooling and contamination of mafic and ultramafic magmas during ascent through continental crust». *Earth and Planetary Science Letters*, 74, 371-386.
- KOMAR, P. D. (1976). «Phenocryst interactions and the velocity profile of magma flowing through dikes or sills». *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87, 1336-1342.
- KRETZ, R.; HARTREE, R.; GARRET, D. & CERMIGNANI, C. (1985). «Petrology of the Grenville swarm of gabbro dikes, Canadian Precambrian Shield». *Can. J. Earth. Sci.*, 22, 53-71.
- ROSCOE, R. (1953). «Suspensions». In HERMANS, J. J. (ed.): *Flow properties of Disperse Systems. North Holland Publ. Comp.*, Amsterdam, 1-38.
- ROSS, M. E. (1983). «Chemical and mineralogic variations within four dikes of the Columbia River Basalt Group, South-eastern Columbia Plateau». *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94, 1117-1126.
- ROSS, M. E. (1986). «Flow differentiation, phenocryst alignment, and compositional trends within a dolerite dike at Rockport, Massachusetts». *Geol. Soc. Am. Bull.*, 97, 232-240.
- SHAW, H. R. (1972). «Viscosities of magmatic silicate liquids: an empirical method of prediction». *Am. J. Science*, 272, 870-893.
- STEELE, K. F. & RAGLAND, P. C. (1976). Model for the closed-system fractionation for a dike formed by two pulses of dolerite magma». *Contrib. Mineral. Petrol.*, 57, 305-316.