

APLICACION DEL METODO DE AUTORRADIOGRAFIA EN LA DETERMINACION DE LA EDAD DE LA GRANITIZACION EN LAS PROXIMIDADES DE CIUDAD BOLIVAR

N. VUNJAK*

1. LOCALIZACION Y GEOLOGIA

El ejemplar utilizado para este estudio ha sido obtenido del profesor Díaz Toro, del Departamento de Geología de la Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar. La muestra proviene de la Quebrada Candelaria, a unos 20 km al este de Ciudad Bolívar, cerca de la carretera para Upata, y es de una pegmatita microclínica muy rica en biotita y con cristales grandes y bien desarrollados de allanita.

Esta pegmatita se encuentra en rocas de aspecto granítico de color rosado a gris claro, de grano grueso a muy fino. La alineación de sus componentes y los cambios en la composición, cristalización o color, se presentan en forma de bandas que siguen un rumbo aproximado E-O y con buzamiento casi vertical hacia el sur, paralelo a la serie metamórfica de esta región.

El examen petrográfico de las rocas rosadas de aspecto granítico en

la región del puente sobre el río Orinoco ha demostrado que estas rocas han sido formadas por la transformación de unas granulitas perthíticas muy peculiares. Estas son, en su mayor parte, de composición ácida, de color gris oscuro y de grano medio. Con muy pocos cambios como la sustitución de los minerales coloreados por la biotita y la hematización de las inclusiones opacas en los feldespatos, se obtiene una roca de aspecto granítico de color rosado pero con otras características de las rocas metamórficas, como la extinción ondulatoria en el cuarzo, cuarzo distribuido en bandas o incluido en los cristales de feldespatos.

Manchas irregulares y frecuentes, de apenas varios decímetros, de anfíbolitas piroxénicas, con su orientación bien desarrollada se pueden observar de un sitio a otro en la Quebrada Candelaria. Estos son restos de la granulita básica, la cual no ha sido afectada mucho por el proceso de la granitización.

Las pegmatitas, que no tienen límites muy claros con los granitos,

* Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Metalurgia, U.C.V.

parecen pertenecer al mismo proceso de la granitización. Aparecen en forma de manchas irregulares muy pequeñas, pero también pueden alcanzar tamaño de varios metros; en el contacto con las anfibolitas pueden formar unas zonas de hasta 3 cm de espesor de grano medio y muy ricas en pequeñas láminas de biotita, las cuales están dispuestas en posición perpendicular a la dirección del contacto. Esta biotita se debe a la transformación de la hornblenda en presencia del material potásico.

La pegmatita es generalmente de grano medio. Está compuesta por microclina de color grisáceo a rosado, cuarzo y biotita, la cual es muy abundante y da a la roca una coloración oscura. Frecuentemente se encuentran mayores concentraciones de biotita, especialmente en las proximidades de la anfibolita. La presencia de formas lenticulares de microclina y cuarzo a veces se acentúa por estar delimitadas por láminas de biotita. La allanita es un mineral distribuido irregularmente en estas pegmatitas y parece ser que, en general, es bastante raro, aun cuando se pueden encontrar concentraciones mayores en las masas pegmatíticas más grandes.

2. PROPIEDADES DE LA ALLANITA EXAMINADA

Cristales de allanita se encuentran entre las láminas abundantes de biotita o incluidos en los granos gruesos de la microclina. La mayoría de estos cristales son bien definidos y en forma alargada. En la muestra de mano se han encontrado impresiones o fragmentos de no menos de ocho cristales de aproximadamente 3 cm de largo por algo menos de 1 cm de ancho, además de muchos otros cristales pequeños.

Aunque en la pegmatita se puede observar un alto grado de alteración, los cristales de allanita se hallan bastante bien conservados. En la superficie de los cristales se observa frecuentemente una película muy delgada de productos de alteración y apenas apreciable, la cual puede ayudar en la delimitación de los cristales de allanita cuando éstos se encuentran entre láminas de la biotita. Una alteración mucho más intensa se pudo observar sólo en dos cristales pequeños, donde la costra de alteración llegó a un espesor de alrededor de 0,2 mm.

Esta allanita es generalmente isotropa en el microscopio, pero también se han observado partes con cierta anisotropía no solamente en fragmentos del mineral triturado, sino también en una sección fina. Una macla en forma de lámina en un cristal ha mostrado cierto grado de anisotropía pero sin pleocroísmo.

En las secciones finas esta allanita presenta un color verde oliva, con el índice de refracción algo mayor de 1,68. Su peso específico es 3,66. Examinado con rayos X, este mineral se muestra completamente amorfo.

3. EL ESTUDIO AUTORADIOGRÁFICO

a) Generalidades sobre el método utilizado

La autorradiografía es un método relativamente nuevo que se utiliza en el estudio de materias radiactivas. El método es bastante simple y no requiere grandes recursos económicos ni instrumentos costosos, por lo que se espera que va a seguir siendo utilizado en muchas actividades y principalmente en su aplicación en la geología.

Este método se basa en la determinación del número de rayos α por cm^2 y por segundo emitidos por el material radiactivo y registrados por emulsión fotográfica especialmente preparada para este fin. El estudio de las trayectorias registradas se hace al microscopio con grandes aumentos.

Este método tiene una gran importancia para los geólogos, porque permite examinar minerales radiactivos en cristales muy pequeños o en forma de inclusiones, que es la forma más frecuente de presentarse en las rocas.

Entre los minerales radiactivos estudiados con el objeto de determinar la edad geológica por este método, se encuentran el circón y la allanita, cuya importancia se debe principalmente a su presencia frecuente en las rocas.

Como este método se basa en el grado de la alteración del mineral producida por el bombardeo constante de su estructura cristalina por la desintegración de sus componentes radiactivos, es de gran importancia la determinación del grado de alteración o metamictización; éste puede ser afectado por la recristalización del mineral a temperaturas elevadas producidas por el metamorfismo.

b) Resultados obtenidos en el examen de la allanita proveniente de la Quebrada Candelaria

En el examen autorradiográfico se han utilizado placas nucleares K-2 de la firma Ilford, con la emulsión de 50 micras de espesor. Para exponer estas placas a la radiación de la allanita, se han utilizado secciones delgadas especiales, algo más gruesas que las secciones finas común-

mente utilizadas en la petrografía y sin el cubreobjeto. De esta manera, el mineral ha sido puesto en contacto directo con la emulsión fotográfica. Los rayos α obtenidos por la desintegración del mineral han sido registrados en forma de trayectorias más o menos largas en la emulsión fotográfica. La exposición para el registro del número necesario de trayectorias para la medición ha sido de alrededor de tres días. Para su examen se ha utilizado un microscopio Ortholux con el ocular de aumento de 6X, y el objetivo de aumento de 100X para las observaciones en inmersión.

La distribución, el número y el tamaño de las trayectorias registradas han sido analizados y se ha obtenido el siguiente resultado:

1. Toda la superficie de la placa cubierta por el mineral presenta las trayectorias de rayos α regularmente distribuidas, lo que es un indicio de la regularidad de la distribución del material radiactivo en el mineral.

2. En todo el trabajo autorradiográfico la determinación del número de rayos α emitidos por cm^2 por segundo (N) es de primordial importancia, y para su cálculo conviene utilizar el mayor número posible de campos microscópicos. Para un mineral en equilibrio radiactivo

$$N = (9,21 C_U + 2,64 C_{Th}) K',$$

donde C_U y C_{Th} son las concentraciones en el uranio y el torio por el gramo del mineral, y el K' es el coeficiente de absorción de rayos α por el mineral. Para allanita este coeficiente es calculado a $K' = 16,8 \pm 0,5$.

En las secciones delgadas elaboradas para este trabajo, se ha observado que el número de rayos α emitidos por varios granos del mineral ha sido muy similar. En la determinación de N se ha utilizado el cristal maclado mencionado anteriormente.

N = Número de trayectorias por el campo microscópico \div superficie del campo micr. en $\text{cm}^2 \times$ tiempo de expos. en segundos.

De 200 campos microscópicos examinados se ha obtenido el resultado $N = 0,7$

3. La relación entre las longitudes de las trayectorias registradas nos permite la evaluación de la relación de concentraciones entre uranio y torio. Las trayectorias superiores a los 7 cm en el aire corresponden al torio (su longitud en la emulsión es de 39 a 48 μ) y entre 5,8 cm y 7 cm, son de torio parcialmente absorbidos por el mineral antes de entrar en la emulsión junto con los de radio y de actinio (su longitud en la emulsión es entre 32 y 39 μ).

Los cálculos de la concentración han sido realizados por medio de las ecuaciones siguientes:

$$CK' = \frac{N(1-m)}{9,21 - 2,64 \cdot m}$$

donde C es la concentración de materias radiactivas y m es la relación entre las concentraciones en el torio y el uranio

$$m = \frac{C_{Th}}{C_U} = \frac{3,3}{\frac{V_2}{V_1} - 0,8}$$

V_1 representa el número de trayectorias pertenecientes al torio con las longitudes de trayectorias entre 39 y 48 μ y V_2 el número de trayectorias con las longitudes entre 32 y 39 μ .

Introduciendo los valores obtenidos en el examen del mismo cristal maclado, se han obtenido los resultados siguientes:

$$\begin{aligned} m &= 63,46 \\ CK' &= 0,2553 \\ C &= 0,015196 \end{aligned}$$

La concentración de uranio es:

$$C_U = \frac{C}{1-m} = 0,0002.$$

y del torio:

$$C_{Th} = m \cdot C_U = 0,0127.$$

De estos resultados se ve que el mineral con 0,02 por ciento es muy pobre en el uranio y su radiactividad se debe a la presencia de torio con 1,27 por ciento.

4. LA DETERMINACION DE LA EDAD GEOLOGICA

El método desarrollado por P. Pellas ha sido utilizado en este trabajo en la determinación de la edad geológica. Por el bombardeo de rayos α la allanita pierde primero su pleocroísmo y después su anisotropía. Pellas ha examinado un gran número de allanitas en diferentes estados de alteración y ha comparado los resultados obtenidos con los obtenidos por otros procedimientos. De este modo, ha llegado a la conclusión de que las allanitas pierden su pleo-

croísmo cuando reciben un impacto de cerca de $25 \cdot 10^{15}$ rayos α por cm^2 y pierden su anisotropía con impactos de alrededor de $35 \cdot 10^{15}$ rayos α por cm^2 .

De lo expuesto se puede apreciar que existe una relación clara entre la cantidad de impactos recibidos y el estado de alteración. Mientras menor es la cantidad de material radiactivo, mayor tiempo se necesita para llegar al mismo estado de alteración. De este modo, conociendo el contenido del material radiactivo y el estado de alteración del mineral, podemos determinar la edad geológica aproximada de la muestra.

Similar a la relación ya mencionada para N tenemos la relación:

$$i = (39,7 C_U - 11,5 C_{Th}) K',$$

donde i representa el flujo de rayos α emitidos por segundo en ángulo de 4π por la superficie de 1 cm^2 y espesor igual al promedio de trayectorias de rayos α en el mineral. De esta ecuación y de la ecuación para la N se obtiene la relación:

$$i = 4,31 N$$

La irradiación I recibida por el mineral en el tiempo t expresado en segundos que corresponde a la edad del mineral estudiado, puede ser escrita de la siguiente forma:

$$I = i \cdot t$$

$$I = 4,31 \cdot N \cdot t ; \text{ de ahí}$$

$$t = \frac{I}{4,31 \cdot N}$$

Se ha visto que la allanita examinada se presenta generalmente co-

mo isotropa, excepto en algunas partes donde se puede percibir todavía anisotropía por medio del microscopio. Se puede considerar que la irradiación recibida por el mineral (I) ha sido aproximadamente de

$$I = 35 \cdot 10^{15}$$

Si introducimos este valor en la ecuación para la determinación del tiempo, se obtiene:

$$\begin{aligned} t &= \frac{35 \cdot 10^{15}}{4,31 \cdot 0,7 \cdot 3,156 \cdot 10^{13}} = \\ &= \frac{3500}{13,6 \cdot 0,7} = 367,6 \text{ m.a.} \end{aligned}$$

El valor de $3,156 \cdot 10^{13}$ representa el número de segundos en un millón de años y de aquí el resultado obtenido expresa la edad geológica en millones de años.

5. DISCUSION

Como se ha mencionado anteriormente, las rocas que han sufrido la granitización en la región de Ciudad Bolívar fueron unas granulitas ácidas. Estas rocas pertenecen a la Formación Imataca, formando el borde norte del Escudo guayanés.

La edad de algunas intrusiones graníticas de la Formación Imataca ha sido determinada por métodos de Rb-Sr (Steenken y Short), dando para el granito de La Encrucijada 2.000 ± 45 m. a. y para el de Ciudad Piar 1.540 ± 60 m. a. De este modo, la edad mínima designada para este complejo es de 2.000 m. a. La edad de 800 m. a. (por el método K-A), obtenida para un pequeño cuerpo granítico de la Formación Imataca, se considera como correspondiendo a un metamorfismo posterior.

El método utilizado en este trabajo no permite la determinación precisa de la edad, por estar basado en cambios estructurales realizados en el mineral (pérdida de anisotropía y pleocroísmo), los cuales no se producen en un momento sino sobre largos períodos del tiempo. Además, la estructura de la allanita puede ser reconstruida fácilmente calentando el mineral a temperaturas poco elevadas (400-800° C), así que su estado de alteración puede representar el proceso último del metamorfismo al cual ha sido sometido, de manera que su recristalización en este proceso ha sido completa.

La determinación de la edad en este trabajo se ha basado en los datos obtenidos en el examen de un cristal completamente isótropo en la sección fina, pero con una lámina maclada con anisotropía apenas visible. La diferencia en la radiactividad de estos dos individuos no ha podido ser apreciada. La circunstancia de encontrar el material todavía anisótropo, nos permite suponer que ha recibido muy cerca de $35 \cdot 10^{15}$ impactos de rayos alfa.

Aunque se puede aceptar que las partes anisótropas del mineral pueden tener un contenido algo más bajo en materias radiactivas, esta diferencia no puede ser tan grande como para dar una determinación de edad muy diferente de la obtenida, que es de 367,6 millones de años. Ella, como hemos visto, puede representar el último período del metamorfismo o la edad de la granitización en la cual ha sido formada esta allanita. Para resolver este problema, es necesario utilizar el método de plomo-alfa, el cual puede dar la edad verdadera del mineral.

Se considera de interés mencionar los resultados del examen de varios

ejemplares de granitos y tonalitas chilenos de las provincias Atacama, Valparaíso y Antofagasta, por el método de plomo-alfa en el circón. La edad de estas rocas chilenas varía entre 260 ± 30 m. a. y 340 ± 40 m. a. En el Brasil, los diques pegmatíticos con minerales radiactivos en la región de Minas Gerais, Bahía y otros sitios han dado una edad de 360 m. a. (Fenner y Andrade Junior).

6. CONCLUSIONES

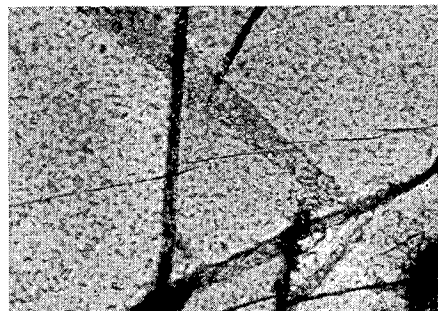
a) La granitización de las cercanías de Ciudad Bolívar pudo haberse efectuado hace unos 365 m. a. Esta edad corresponde al Devónico medio-superior, según la escala de Kulp (1961).

b) Aunque la edad determinada corresponde a las pegmatitas, se considera que éstas corresponden al mismo proceso de la granitización.

c) La edad mencionada también nos puede indicar la edad del último proceso del metamorfismo que ha sufrido esta región. En este caso, la granitización se produjo anteriormente.

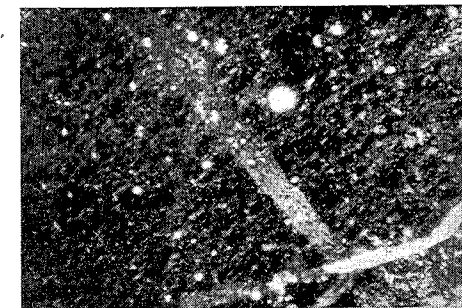
d) Para determinar si se trata de la edad de la formación o de recristalización de la allanita, es necesario comparar el resultado obtenido por este método con el resultado del plomo-alfa.

e) Si de la comparación resultan valores equivalentes, se puede considerar que la granitización en las cercanías de Ciudad Bolívar se realizó en el mismo período durante el cual se formaron granitos y tonalitas chilenos y las pegmatitas de las regiones brasileñas de Minas Gerais, Bahía y otros.



A

El cristal de allanita examinado; Nícoles paralelos. 100X



B

El mismo cristal en Nícoles cruzados; se observa la anisotropía de la lámina maclada



C

Las trayectorias de rayos alfa registradas en la emulsión fotográfica; aumento 440X

BIBLIOGRAFIA

- Chase L., R. (1963): **The Imataca Complex**, Ministerio de Minas, Dirección de Geología. Sin publicar.
- Coppens, R. (1950), "Étude de la radioactivité de quelques roches par l'émulsion photographique", *Bull. Soc. Franç. Miner. Crist.*, Paris, 73, pp. 217-321.
- Levi, B., Mehech, S., Munizaga (1963): **Edades radiométricas y petrografía de granitos chilenos**, Inst. de Invest. Geol., Chile, *Bol.* 12, pp. 1-42.
- Oliveira y Leonardos (1943): **Geología do Brasil**, Ministério da Agricultura. Serviço

de informação agrícola, Rio de Janeiro, Brasil.

Pellas P. (1962): "Essai de détermination de l'âge géologique à partir de distances réticulaires et de propriétés optiques de allanites radioactives (I)", *Bull. Soc. Franç. Miner. Crist.*, T. 85, N° 2, pp. 131-153; (II), T. 85, N° 3, pp. 213-233.

Ruiz C., Segerstrom, K., Aguirre, L., Corvalán, J., Rose Jr., H. J., Stern, T. W. (1960): **Edades plomo-alfa y marco estratigráfico de granitos chilenos**, Inst. de Invest. Geol., Chile, *Bol.* 7, pp. 1-26.