

- NAGY, E. y K. BRESZNYANSKY: La depresión paleogénica Baracoa-Mata. En Contribución a la Geología de Cuba Oriental. ACC, Ed. Científico-Técnica, p. 134-137.
- NIKOLAEV, A. et al.: Informe geológico sobre los resultados de los trabajos de búsqueda y levantamiento geológico a escala 1:100 000 en la Sierra del Purial. Fondo Geológico Nacional. La Habana, 1981.
- QUINTAS, F.: Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno y áreas cercanas. Tesis de doctorado. CICT, ISMM, Moa, 1989.
- : "Geología de la zona Bernardo-Puriales de Caujerí, parte norcentral de la provincia Guantánamo". Revista Ciencia y Técnica, 1978.
- : Geología de Las Yaguas. Informe Geológico. Fondo Geológico, ISMM, 1975.
- VIDAL, M.: Correlación estratigráfica entre los depósitos terciarios entre Cananova y Cajimaya. Trabajo de Diploma. Fondo Geológico. ISMM, Moa, 1981.

<< NOVEDADES CIENTIFICAS >>

TRATAMIENTO DE METALES CON EL USO DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

La Facultad de Electromecánica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa ha desarrollado una tecnología de tratamiento de metales con explosivos la cual permite:

- Obtención de compuestos metálicos de dos y más capas, preferentemente para recipientes que trabajan en medios altamente agresivos, recipientes a presión, transmisión de corriente, fabricación de elementos cortantes de maquinarias agrícolas, tanto en superficies planas como cilíndricas.
- Dentro de las tecnologías desarrolladas para la elaboración de bimetales, se encuentran:
- Aluminio - Cobre
 - Acero al Carbono - Titanio
 - Acero al Carbono - Acero inoxidable
 - Acero al Carbono - Cobre
 - Acero al Carbono - Aluminio
- Fabricación de tapas y fondos de sección elíptica simple o compuesta, en matrices que van desde 180 hasta 1 200 mm de diámetro.
 - Recuperación y compactación de metales para obtener nuevas propiedades; además, se hacen estudios para la compactación de polvos.

PRODUCTOS QUE SE OFERTAN

1. BAJANTES BIMETALICOS Cu - Al: Unión metalúrgica y resistente de conductores eléctricos de cobre y aluminio para la unión desde el transformador hasta la red. Soporta elevadas temperaturas y cargas eléctricas. Evita el par galvánico.
2. PRESILLAS BIMETALICAS Cu - Al: Presillas para acometidas eléctricas desde 2 hasta 6 consumidores. Basadas en la unión metalúrgica del cobre y el aluminio por medio de explosión, que garantiza una unión resistente al paso de la corriente y de la temperatura. Evita el par galvánico.
3. CATODOS PARA ELECTROLISIS Cu - Ti: Unión metalúrgica de titanio y cobre que garantiza la buena transmisión de corriente en la celda electrolítica. Evita los falsos contactos, la formación del par galvánico y asegura una buena conductividad eléctrica.

Los interesados para mayor información pueden comunicarse con:

Dr. Secundino Marrero Ramírez
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrado
Las Coloradas, Moa, Holguín
Cuba
Teléfonos: 6-6678 6-6502 6-4214
Télex: 021-397
Fax: 33 5302

EL ANALISIS MODAL EN LA MICROSCOPIA DE LAS ROCAS

A. Járαι *
M. Kozák*
P. Rózsa*
Y. Ríos R.**
M. Rasúa **

* Universidad de Ciencias de Kossuth L., Debrecen, Hungría
** Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba.

RESUMEN: El artículo trata el análisis modal como uno de los más frecuentes dentro de la microscopía petrográfica. Se exponen los diferentes métodos que se han utilizado en el decursar del tiempo y se hace una valoración sobre la efectividad de los mismos. A partir de un modelo estadístico se llegan a estimaciones de la desviación de los resultados de medición, se introduce el concepto de eficacia como indicador que relaciona la desviación típica con el número de mediciones y se determina la misma para los métodos más comunes que se emplean en la actualidad. Se llega a conclusiones sobre el equipamiento, accesorios y cantidad de tiempo necesarios para obtener resultados adecuados, proponiéndose por último, a juicio de los autores, el método óptimo del análisis modal.

ABSTRACT: The modal analysis is treated as one of them more important within the petrographical microscopy. The different methods which has been used during the course of time are exposed and the value is done about the effectiveness themselves. The conclusions about the equipment, accessories and the necessary quantity of time to obtain adequate results, at last, proposing itself, at judgement of the authors, the optimum method of the modal analysis.

INTRODUCCION

El análisis modal es uno de los análisis más frecuentes dentro de la microscopía petrográfica. Está principalmente difundido en la petrología magmática y metamórfica así como en la sedimentología, la cual la utiliza, por ejemplo, en el caso de los sedimentos consolidados.

En casi todos los análisis microscópicos son necesarias estimaciones o mediciones de la forma, estructura o cantidad de los componentes; es por ello que el análisis modal es casi indispensable.

Por medio de él se pueden obtener dos series de datos básicos: por una parte la cantidad relativa de los minerales que integran la roca y, por otro lado, el tamaño absoluto de los granos minerales que la forman, así como el valor relativo de las diferentes clases granulométricas.

Con la utilización de datos de una precisión adecuada respecto a la composición mineralógica, la distribución

granular de algunos minerales y la distribución granular general se pueden llegar a conclusiones más detalladas. En particular, tomando como base el análisis de secciones delgadas, es posible obtener con mayor certeza el tipo estructural de la composición granular; diferenciar las variedades de rocas que pueden encontrarse en una localidad; distinguir las facies del flujo de lavas o cuerpos magmáticos; obtener la curva de composición y de distribución granular y determinar la composición mineralógica de sedimentos fuertemente cementados. Con la utilización del método modal adecuado se puede lograr una precisión conveniente en el trabajo, el cual será más rápido, simple y menos costoso. La revisión de la bibliografía existente sobre el tema, que no es amplia en relación con la importancia del mismo, indica que las dudas respecto a estos métodos se agrupan alrededor de las exigencias anteriormente mencionadas.

LOS METODOS DEL ANALISIS MODAL

Los métodos del análisis modal pueden ser agrupados, con el objetivo de tener una visión general de los mismos, tomando en cuenta el orden cronológico o a partir de la metodología que emplean. En el presente trabajo se escoge una solución intermedia porque a pesar de que los métodos básicos pueden ser encontrados en la práctica hasta el día de hoy, sus apariciones y difusión pueden ser limitadas en el tiempo.

La creación del primer método modal se relaciona con el nombre de Delesse (1848). La utilización de su método en la práctica estaba acompañada por un grupo de

dificultades. El trabajaba con superficies pulidas de las cuales podía tomar los contornos del mineral, llevarlos a una delgada hoja de estaño y luego determinar la cantidad relativa midiendo el peso de la muestra.

Probablemente Sorby (1856) fue el primero en llevar a cabo análisis modales en el microscopio. El hacía dibujos "cámara lúcida" de las superficies y determinaba sus volúmenes relativos por el método de Delesse. Yolly (1903) sustituyó el corte y la toma del peso por cálculos gráficos. Por otro lado Johansen (1919) utilizaba un planímetro en el dibujo "cámara lúcida".

El método de Rosiwal (1898) no sustituye la relación de Delesse, como se dice en algunos casos. Su importancia es más bien de orden práctico. El principio de su método consistía en la determinación del área relativa en función de diagonales de longitud semejantes, aunque en su trabajo original las líneas guías no eran rectas ni paralelas en absoluto. Los seguidores de este método generalmente utilizaban un ocular micrométrico de rejillas cuadradas perpendiculares y probablemente este hecho trajo consigo que el uso de las diagonales de igual longitud se tomara como condición indispensable. El método original exigía mucho trabajo y cálculos manuales, por lo que era de difícil implementación. Shand (1916) se basó, en esencia, en el principio de Rosiwal, cuando creó su micrómetro para la toma de datos, en el cual las mediciones no se hacían con el ocular del microscopio, sino con un equipo colocado en la mesa, ideado por él mismo, con el cual se podía mover la superficie pulida. La longitud medida, relacionada al mineral dado, podía ser leída en los tornillos calibrados del equipo, y de esta forma el cociente de los mismos era muy fácil de calcular. Puede afirmarse que los integradores continuos de línea utilizados hoy en día son los descendientes de la mesa de Shand.

El desarrollo de un método más moderno y del instrumento adecuado para éste se relaciona al nombre de Glagolev (1933, 1934). La base del principio es la sustitución de las líneas por puntos, encima de la superficie a medir puede encontrarse una red simétrica de puntos y se determinan los minerales que se encuentran debajo de los puntos. Este método se difundió ampliamente a partir de la II Guerra Mundial, y hoy puede ser tomado como el más utilizado en la práctica del análisis modal, junto a la integración continua de línea. Este método es muy rápido pero sólo es adecuado para la medición de los componentes de la roca, no ocupándose de las características texturales ni de la distribución granular.

En relación con los métodos e instrumentos antes mencionados fueron publicados en 1956 y en 1971 varios artículos por Chayes y Carver respectivamente que resumían los mismos; mostrando las ventajas y desventajas de cada uno de estos y además la desorientación que imperaba en el tema, motivada por la incapacidad de los autores para determinar la exactitud de sus métodos y la cantidad de mediciones necesarias para alcanzar una precisión dada.

A partir de los años 30 se hicieron frecuentes publicaciones que tomaban como representativas a las mediciones realizadas de 200 a 500 granos, pero esto no fue demostrado de una manera exacta, cuestión destacada por Nagy (1958) y Egerev (1976).

Durante el examen de la distribución granular de sedimentos fuertemente consolidados, formados por pe-

DETERMINACION DE LA COMPOSICION MINERAL

La primera y más importante tarea del análisis modal es la determinación o estimación de la cantidad relativa (en %) de los componentes de las rocas poliminerales.

Examinemos con qué distribución oscilan los datos obtenidos alrededor del valor promedio al determinar las cantidades relativas de un componente dado en una sección delgada con el método de los puntos en red.

pequeños granos, se planteó la idea de comparar e igualar el análisis modal de superficies pulidas con el análisis del tamaño granular por medio de tamices. Entre los numerosos análisis enfocados a este tema se destaca el trabajo de Friedman (véase en Carver 1971), quien observó una relación lineal entre estos dos tipos de análisis. El cálculo de uno a otro fue posible con la utilización de diagramas de correlación y gráficos. La generalización de esta idea para el caso de las rocas magmáticas hizo posible que se pudieran caracterizar la estructura y tamaño granular de las mismas con la utilización de mediciones microscópicas sencillas del diámetro de los granos y una técnica similar a la de las curvas de-composición granular de sedimentos.

Como es natural, todavía continúan los análisis en relación al tema, incluso en los últimos 30 años han sido elaborados unos cuantos métodos, entre los cuales quisieramos destacar el de Brezina (1959), que es una combinación peculiar del cálculo del área y la medición a lo largo de la recta y trata de aprovechar las ventajas de cada uno de estos. Para la utilización del método es suficiente disponer de un ocular micrométrico. El elaboró dos métodos de trabajo; el primero puede ser usado en el caso de magnitudes granulares dentro de los límites de variación acostumbrados, y el otro en el caso de granos de tamaños muy diversos. En ambos casos debe determinarse el llamado diámetro nominal y luego puede darse la frecuencia con la ayuda de nomogramas diferentes.

Debemos señalar que el análisis modal microscópico tiene determinados límites. Por ejemplo, la roca en cuestión debe tener la solidez necesaria para la preparación de secciones delgadas y el tamaño de los granos no debe ser ni demasiado pequeño (10 μ), ni demasiado grande, pues en estos casos no es posible la preparación de una sección delgada representativa para el estudio bajo el microscopio; por otro lado queremos significar que las secciones pulidas tampoco son adecuadas para este análisis. El análisis modal de rocas de granos grandes o granos variables puede ser posible con mediciones superficiales macroscópicas o con la combinación de mediciones microscópicas y macroscópicas.

Es posible concordar con la opinión de Cheys (1956), según el cual los datos que se derivan de mediciones geométricas pueden ser tan precisos como queramos, si se le dedica el tiempo y esmero necesario. Por ello, la cuestión que debe abordarse es la siguiente: ¿Qué equipamiento, accesorios y cantidad de tiempo son necesarios para obtener resultados de una exactitud dada en relación con cada uno de los métodos?

En el curso de este trabajo se tratará de encontrar respuesta al problema de la efectividad de los métodos. Se examinará qué cantidad de mediciones son necesarias, en cada uno de los métodos, para obtener la precisión requerida.

Sea T una parte de la roca examinada y V_T su volumen. Fijemos en T un sistema de coordenadas y dentro de él, el sistema de los puntos de medición. En este volumen los granos del componente examinado se encuentran dispersos al azar. Supongamos que estos granos están clasificados en los tipos T_1, T_2, \dots, T_n de acuerdo a su tamaño, forma y orientación. Esto presupone que los granos que pertenecen a una misma clase tienen aproximadamente el mismo volumen. Sea V_i el volumen de cada grano del tipo

T_i , K_i el número total de granos de esa clase y C_i el volumen relativo de la clase T_i en T . Obviamente:

$$C_i = \frac{K_i \cdot V_i}{V_T} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

Consideremos ahora la cantidad de puntos de la red de medición, que son cubiertas por un grano arbitra-

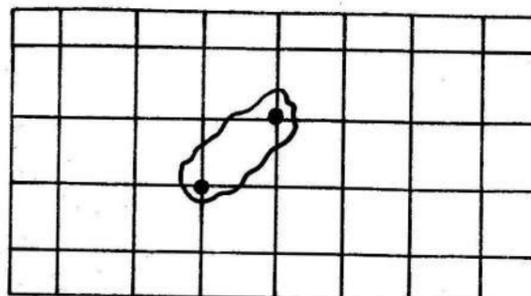


FIGURA 1a. El grano cubre dos puntos.

Sea $f_i(X_1, X_2, X_3)$ la cantidad de puntos que son cubiertos por el grano de la clase T_i que tiene su centroide en (X_1, X_2, X_3) . Es posible demostrar que si T es suficientemente grande con respecto al espacio ocupado por los puntos de medición, tiene lugar:

$$\int_T f_i(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 = m V_i \quad (2)$$

donde m es el número total de puntos de la red.

$$\begin{aligned} \sigma(\xi_{ij})^2 &= M(\xi_{ij}^2) - M^2(\xi_{ij}) = \\ &= \frac{1}{m^2 V_T^2} \int_T f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 - \frac{1}{m^2 V_T^2} \left\{ \int_T f_i(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 \right\}^2 = \\ &= \frac{1}{m^2 V_T^2} \int_T f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 - \frac{V_i^2}{V_T^2} \end{aligned}$$

Sea ξ una variable aleatoria que toma como valor la cantidad relativa de los puntos del sistema que están cubiertos por el componente dado, entonces:

$$\xi = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{K_i} \xi_{ij}$$

$$M(\xi) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{K_i} M(\xi_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{K_i} \frac{V_i}{V_T} = \sum_{i=1}^n \frac{K_i V_i}{V_T} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (4)$$

O sea, el valor medio de ξ es precisamente el volumen relativo del componente analizado. La desviación típica $\sigma(\xi)$ de ξ es la siguiente:

$$\begin{aligned} \sigma(\xi)^2 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{K_i} \sigma(\xi_{ij})^2 = \sum_{i=1}^n K_i \left\{ \frac{1}{m^2 V_T^2} \int_T f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 - \frac{V_i^2}{V_T^2} \right\} = \\ &= \frac{1}{m^2} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} \int_T f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 - \frac{1}{V_T} \sum_{i=1}^n C_i V_i \end{aligned}$$

Si consideramos que V_T es suficientemente grande, el segundo miembro se puede despreciar por lo que

$$\sigma(\xi)^2 = \frac{1}{m^2} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} \int_T f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 \quad (5)$$

rio G de la clase T_i . Es fácil ver (figs. 1a y 1b) que este número no solo depende del volumen V_i sino también de la posición relativa que ocupa G dentro de la red. En efecto, si el centroide (centro geométrico) de G está en una posición "afortunada" (fig. 1a) el número de puntos cubiertos puede ser mayor que en otras posiciones (fig. 1b).

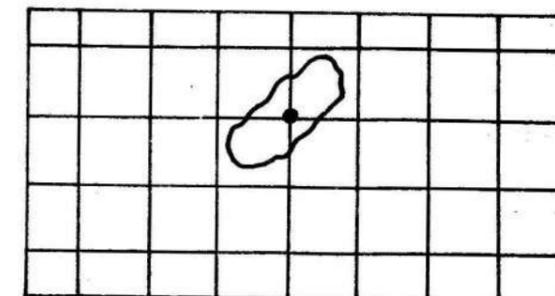


FIGURA 1b. El grano cubre sólo un punto.

Sea ξ_{ij} la variable aleatoria cuyo valor es el cociente entre la cantidad de puntos que son cubiertos por el grano G_j de la clase T_i y el número total de puntos m .

Si consideramos que los granos están distribuidos uniformemente en T el valor medio $M(\xi_{ij})$ puede ser calculado a través de:

$$M(\xi_{ij}) = \frac{1}{m V_T} \int_T f_i(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 = \frac{V_i}{V_T} \quad (3)$$

y la desviación típica $\sigma(\xi_{ij})$ es:

Como ξ es la suma de muchas variables aleatorias independientes, de acuerdo al teorema del límite central, su distribución se aproxima a la distribución normal.

Por otro lado el valor medio de ξ es:

ción es diferente por lo que se necesitan otros caminos para estimar la desviación.

Supongamos ahora que los puntos de medición forman una red regular de tres dimensiones. Sea W una de las celdas unitarias. Si asumimos que el borde de la red espacial es despreciable en comparación con el interior de la misma, se cumple que

$$\int_T f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 = m \int_W f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3$$

EL CONCEPTO DE LA EFICACIA

Intuitivamente consideramos un método eficaz cuando logra los objetivos propuestos con un esfuerzo razonablemente mínimo. En el caso que nos ocupa debemos lograr disminuir la desviación $\sigma(\xi)$ pero sin que ello implique un número excesivo de mediciones. Por ello tiene sentido definir la eficacia H de la medición; evidentemente ella debe ser inversamente proporcional al número de mediciones y a $\sigma(\xi)$.

Sea a_1 la distancia entre los planos de corte de la sección delgada en una misma muestra, a_2 la distancia entre las líneas de medición microscópica de la muestra y a_3 la distancia entre los puntos de medición en cada línea de dirección. Para la determinación de la eficacia es necesario analizar cuatro variantes.

$$\frac{1}{H_2} = \sigma(\xi)^2 m \cdot a_2 \cdot a_3 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} a_2 \cdot a_3 \int_W f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3$$

Este índice de eficacia nos da la relación entre el cuadrado de la desviación y el área total de las superficies pulidas.

$$\frac{1}{H_3} = \sigma(\xi)^2 m \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \int_W f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3$$

Este índice relaciona el cuadrado de la desviación y el volumen de la muestra.

Examinaremos a continuación cada uno de los métodos según los diferentes tipos de eficacia.

a) Cómputo de los puntos.

La eficacia de volumen es mayor mientras menores sean los valores de a_1 , a_2 , y a_3 . Si a_1 , a_2 , y a_3 tienden a cero

$$\frac{1}{H_3} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} V_W \int_W \frac{f_i^2}{V_W^2} dx_1 dx_2 dx_3 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} V_W^2 \frac{V_i^2}{V_W^2} = \sum_{i=1}^n C_i V_i$$

La eficacia de volumen es fácil de calcular cuando el grano puede contener como máximo uno de los puntos de la red. Hagamos una reflexión de un grano que pertenece a la clase T_i con respecto a su centroide y trasladémoslo de forma que el centroide caiga en uno de los puntos de la

$$\frac{1}{H_3} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} V_W \int_W f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} V_W V_i = V_W \sum_{i=1}^n C_i$$

La eficacia del plano aumenta a medida que disminuyen a_2 y a_3 ; con el decrecimiento de a_1 ésta no varía siempre que el grano sólo intersecte uno de los planos de corte y si a_1 decrece más, entonces la eficacia disminuye. La eficacia toma su valor máximo cuando a_2 y a_3 son pequeños y a_1 es lo suficientemente grande. Para determinar este valor máximo supongamos que a_2 y a_3 son pequeños y sea $f_i^{**}(X_1)$ una función tal que si la primera

y por ello (5) se transforma en

$$\sigma(\xi)^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} \int_W f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 \quad (6)$$

De esta fórmula se desprende que si se realiza la medición en una cantidad de material K veces mayor, el cuadrado de la desviación se reduce K veces.

a) Eficacia de punto (H_0).

Su valor es:

$$\frac{1}{H_0} = \sigma(\xi)^2 m = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} \int_M f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3$$

Este índice de eficacia nos da la relación entre el cuadrado de la desviación y el número de puntos.

b) Eficacia lineal (H_1).

$$\frac{1}{H_1} \sigma(\xi)^2 m \cdot a_3 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} a_3 \int_W f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3$$

Este índice establece la relación entre el cuadrado de la desviación y la longitud total de las líneas guías.

c) Eficacia del plano (H_2).

d) Eficacia de volumen (H_3).

entonces la eficacia de volumen tiende a un valor determinado. En particular si a_1 , a_2 , y a_3 son muy pequeños se cumple que

$$f_i(X_1, X_2, X_3) \approx \frac{V_i}{V_W}$$

donde V_W es el volumen de W . Utilizando la igualdad $V_W = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3$ obtenemos

red. La función $f_i(X_1, X_2, X_3)$ en una vecindad de este punto toma el valor 1 exactamente si (X_1, X_2, X_3) está contenido en esta traslación. De aquí que en una región de volumen V_W la función $f_i(X_1, X_2, X_3)$ toma el valor 1 en un volumen V_i y 0 en el resto. Por ello tenemos que

$$\frac{1}{H_3} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} V_W \int_W f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} V_W V_i = V_W \sum_{i=1}^n C_i$$

coordenada del centroide es X_1 , $f_i^{**}(X_1)$ toma el valor del área total que el grano intersecta en los planos de corte. Como a_2 y a_3 son pequeños, se tiene:

$$f_i(X_1, X_2, X_3) = \frac{f_i^{**}(X_1)}{a_1 \cdot a_2}$$

y por ello

$$\frac{1}{H_2} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} a_2 \cdot a_3 \int_W f_i^2(X_1, X_2, X_3) dx_1 dx_2 dx_3 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} \int_L f_i^{**}(X_1)^2 dx_1$$

donde L denota un segmento de longitud a_1 .

La integral $\int_L f_i^{**}(X_1)^2 dx_1$ toma su valor mínimo si a_1

es tan grande que un grano no puede cortar dos planos a la vez. En este caso $\frac{1}{V_i} \int_L f_i^{**}(X_1)^2 dx_1$ no depende de L y su valor puede ser calculado para diferentes cuerpos geométricos.

La eficacia lineal es máxima si a_3 es muy pequeño y a_1 y a_2 son tan grandes que un grano no puede cortar a la vez dos de las líneas de dirección. En este caso si X_1 y X_2 son las dos primeras coordenadas del centroide del grano, denotaremos mediante $f_i^*(X_1, X_2)$ la longitud total de la intersección del mismo con las líneas de dirección. De esta forma tenemos que:

$$\frac{1}{H_1} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} \int_R f_i^*(X_1, X_2)^2 dx_1 dx_2$$

donde R es un rectángulo de lados a_1 y a_2 . Si a_1 y a_2 son lo suficientemente grandes, la magnitud $\frac{1}{V_i} \int_R f_i^*(X_1, X_2)^2 dx_1 dx_2$ no depende de R y su valor puede ser calculado para diferentes cuerpos geométricos.

$$\frac{1}{H_2} = \sigma(\xi)^2 t = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} \int_L f_i^{**}(X_1)^2 dx_1 \quad \text{y} \quad \frac{1}{H_3} = \sigma(\xi)^2 \cdot t \cdot a_1$$

d) Medición de volumen.

Aquí sólo tiene sentido la eficacia de volumen. Si el volumen medido es $V = m \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3$, tendrá lugar:

Por último, la eficacia de punto es máxima, si a_1 , a_2 y a_3 son lo suficientemente grandes, para que un grano contenga como máximo uno de los puntos de la red. Cuando el valor de a_1 , a_2 y a_3 es mayor que el valor anteriormente dado, el valor de la eficacia es:

$$\frac{1}{H_0} = \sum_{i=1}^n C_i$$

b) Medición a lo largo de la recta.

Este método de división puede ser tomado como el límite del método de cómputo de puntos, cuando a_3 tiende a cero. Como es natural, en este caso se pierde el sentido de la eficacia de punto. Si denotamos la longitud de las líneas de dirección a través de $h = m \cdot a_3$ se obtiene

$$\frac{1}{H_1} = \sigma(\xi)^2 h = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} \int_W f_i^*(X_1, X_2)^2 dx_1 dx_2$$

$$\frac{1}{H_2} = \sigma(\xi)^2 h \cdot a_2 \quad \text{y} \quad \frac{1}{H_3} = \sigma(\xi)^2 \cdot a_1 \cdot a_2$$

c) Medición en un plano.

En este caso sólo tiene sentido la eficacia de área y de volumen. Si el área medida es denotada por $t = m \cdot a_2 \cdot a_3$, entonces

$$\frac{1}{H_3} = \sigma(\xi)^2 V = \sum_{i=1}^n C_i V_i$$

LA DETERMINACION DE LA DESVIACION

El límite superior de la desviación puede ser determinado con la estimación de la composición granular. Otro método para determinar la desviación es:

a) En el caso de la medición de punto:

Si el grano no contiene dos puntos a la vez se cumple:

$$\sigma(\xi)^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n C_i$$

Con la ayuda de la estimación obtenida para $\sum_{i=1}^n C_i$

durante la medición, podemos estimar también a $\sigma(\xi)^2$.

b) En el caso de la medición de recta:

$$\sigma(\xi)^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \alpha(\xi_{ij})^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k M(\xi_{ij}^2) = M \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \xi_{ij}^2 \right)$$

Si a_3 es muy pequeña, entonces ξ_{ij} es el cociente entre la longitud de la intersección del grano G_j del tipo T_i con las líneas de dirección y la longitud total de éstas. Por ello podemos dar una estimación para $\sigma(\xi)^2$, si dividimos la suma del cuadrado de las longitudes de las intersecciones del grano con las líneas, por el cuadrado de la longitud total medida. Por supuesto, esta suma de los cuadrados es calculable fácilmente si el

grano sólo pueda cortar una de las líneas de dirección, entonces en la fórmula

$$\sigma(\xi)^2 = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^n C_i \cdot \frac{1}{V_i} \int_R f_i^*(X_1, X_2)^2 dx_1 dx_2$$

los valores de

$$\frac{1}{V_i} \int_R f_i^*(X_1, X_2)^2 dx_1 dx_2$$

no dependen de R y no cambian si a_1 y a_2 continúan aumentando lo que permite estimar a $\sigma(\xi)^2$ debido a que $\sigma(\xi_{ij})$ tiende a $M(\xi_{ij}^2)$ si V_i tiende al infinito y por ello:

grano sólo puede intersectar como máximo una línea de dirección.

c) En el caso de la medición del plano:

Al igual que en el caso anterior, podemos estimar a $\sigma(\xi)^2$, si dividimos la suma del cuadrado de las áreas intersectadas por el grano en los planos del corte, por el cuadrado del área total medida.

d) En el caso de la medición de volumen:

Podemos estimar la desviación, si dividimos la suma de los cuadrados de los volúmenes medidos, por el cuadrado del volumen total.

Hasta aquí hemos abarcado la metodología de medición de la composición y las cantidades minerales de las

DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION GRANULAR

Otra de las tareas principales del análisis modal es la determinación del diámetro y las medidas de los granos en secciones delgadas compuestas por uno o más minerales. Esto puede tener muchos objetivos, por ejemplo, en el caso de las magmatitas, la separación de las generaciones de los minerales con sus particularidades, o sea, la separación de los grados de cristalización, las relaciones de la distribución granular (curvas de integración y derivación), y el grado de cristalización, la velocidad y profundidad de formación.

Tomemos ciertos puntos (es conveniente hacerlo a lo largo de alguna de las rejillas) de manera que dos puntos diferentes no sean contenidos por un mismo grano y midamos ciertos caracteres (por ejemplo, el diámetro) de los granos que contienen a cada uno de los puntos. Determinemos una función de distribución empírica con los resultados de esta medición. Como la probabilidad de que el

EL METODO OPTIMO DEL ANALISIS MODAL.

En base a lo expuesto hasta ahora podemos escoger el método de medición con la mayor cantidad de propiedades ventajosas, acorde a la finalidad deseada. Sin embargo esta elección todavía no puede ser completamente objetiva, pues los puntos de vista calificativos y la apreciación de la finalidad sólo pueden ser exactos en parte.

Según nuestro juicio, el método de medición a lo largo de la recta es el más ventajoso (Kozák, 1979). Para su utilización no es necesario el uso de instrumentos caros o complicados, sólo se necesita un ocular con escala en cruz, el cual puede ser calibrado al colocar en la meseta de medición una escala micrométrica.

Preparamos las secciones delgadas de la roca a examinar. Estas pueden ser más de una, paralelas o de dirección arbitraria. (La relación de la orientación estructural y las medidas granulares será examinada en otra publicación.)

Teniendo la información sobre la composición y las medidas granulares en la sección delgada ya preparada, designamos las líneas de dirección, a lo largo de las cuales vamos a realizar la medición. Estas deben ser determinadas de forma que ninguno de los granos corte dos de las líneas de dirección, es decir, medimos sólo un diámetro en cada uno de los granos. Este diámetro sería el que cae en la dirección de la línea guía. Por supuesto este es un diámetro arbitrario, que no es ni el mayor ni el menor, pero al realizar muchas mediciones con diferentes orientaciones, los valores obtenidos se aproximarán al valor medio.

Es conveniente registrar y sumar los valores de los diámetros de los componentes y minerales para cada uno de los tipos de mineral separadamente, pues de esta forma se pueden construir incluso las curvas de composición y cristalización de las rocas.

rocas, desde el punto de vista de la eficacia y la desviación. Esto nos da una base para la comparación de los métodos y la selección del más adecuado, así como para la optimización del trabajo, del tiempo y de la energía a invertir en la medición.

carácter, o índice medido, esté entre dos límites es igual a la proporción de volumen de los granos (cuyo índice está entre estas fronteras), la función de distribución empírica F_m es aproximada por la función de distribución referente a las proporciones de volumen con respecto al índice tomado. En virtud de que dos puntos no pueden estar contenidos en el mismo grano, los resultados parciales pueden ser tomados como independientes, y por ello, según uno de los teoremas de Kolmogorov

$$\lim_{m \rightarrow \infty} P(\sqrt{m} \text{ sup } |F_m(x) - F(x)| < y) = k(y)$$

Como en el caso de $m > 30$, la práctica nos dice que

$$P(\sqrt{m} \text{ sup } |F_m(x) - F(x)| < y) \approx k(y)$$

entonces la fórmula anterior nos da la cantidad de mediciones necesarias en función de la precisión o exactitud requeridas.

Por otro lado, sumando las series de datos de cada uno de los componentes podemos obtener informaciones de carácter general.

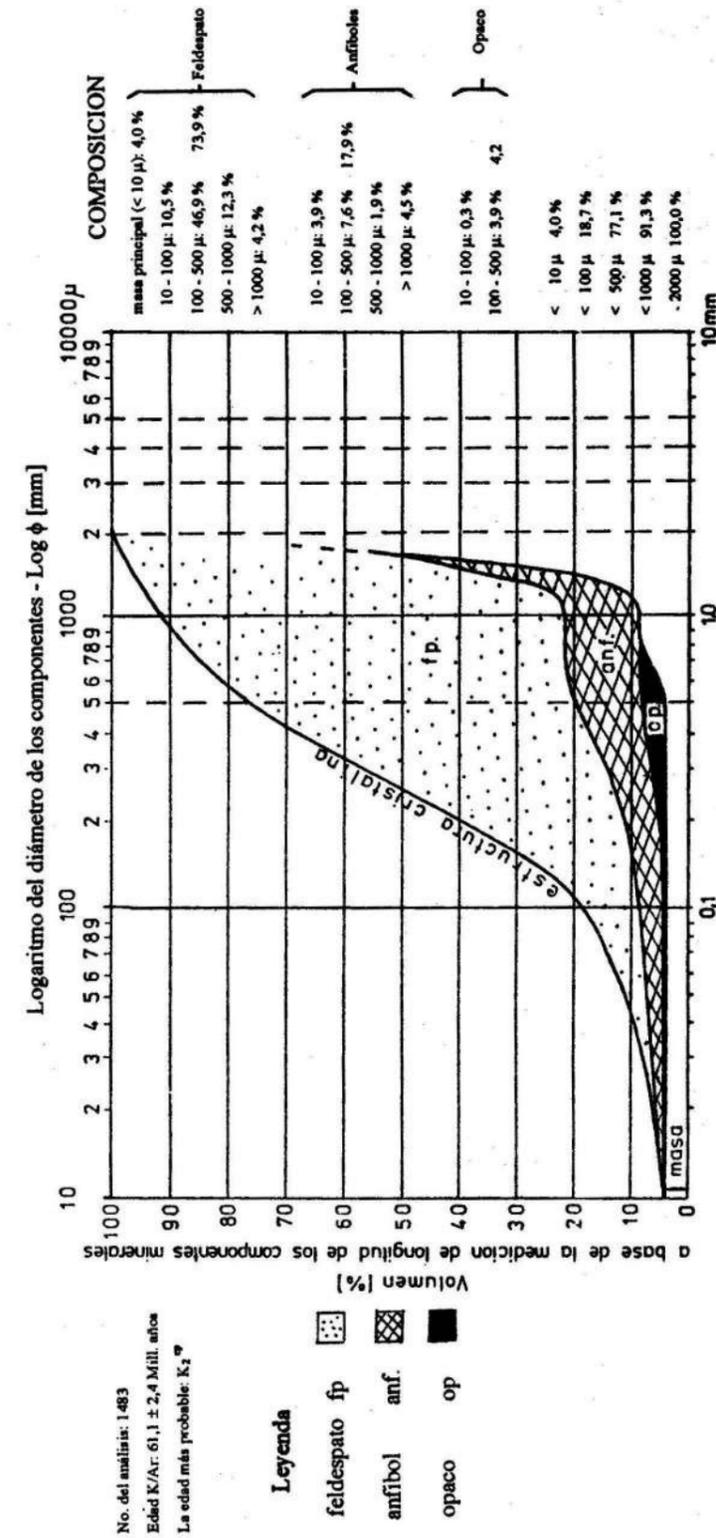
Este tipo de medición es sencilla, rápida y adecuada para el procesamiento de datos con ayuda de computadores.

La forma de los componentes puede ser muy variable. Si el grano es deforme, el diámetro del mismo se relaciona con el diámetro de una esfera equivalente. La determinación de las cantidades componentes es llevada a cabo por medio de mediciones a lo largo de líneas guías paralelas de una longitud total h , que están a una distancia d una de la otra en la sección delgada. Medimos la longitud de los segmentos cubiertos por los granos en la línea vertical de la ocular. Sea k la longitud total de los segmentos cubiertos por uno de los componentes. De esta forma, tomando estas condiciones, la proporción k/h oscila alrededor de la proporción de volumen p con una distribución normal de desviación.

Para el cuadrado de esta desviación, obtenemos la igualdad $\sigma^2 = \frac{c}{h}$, donde c no depende de h , sino que depende de la distribución de los granos de los componentes examinados según su orientación y tamaño. Es conveniente llevar a cabo la medición, de forma que d sea mayor que el diámetro máximo de los componentes de la roca o de la longitud visible del grano.

A pesar de que existen soluciones diferentes a ésta, nosotros exigimos que se cumpla esta condición para lograr que el trabajo sea más simple. Distribuyamos las secciones transversales de los componentes del mineral que hemos obtenido en clases de tamaños, que pueden ser escogidas arbitrariamente. Sea d_j el diámetro máximo de los granos que pertenecen a la clase j y p_j la proporción de las áreas de estos por el área total. En este caso:

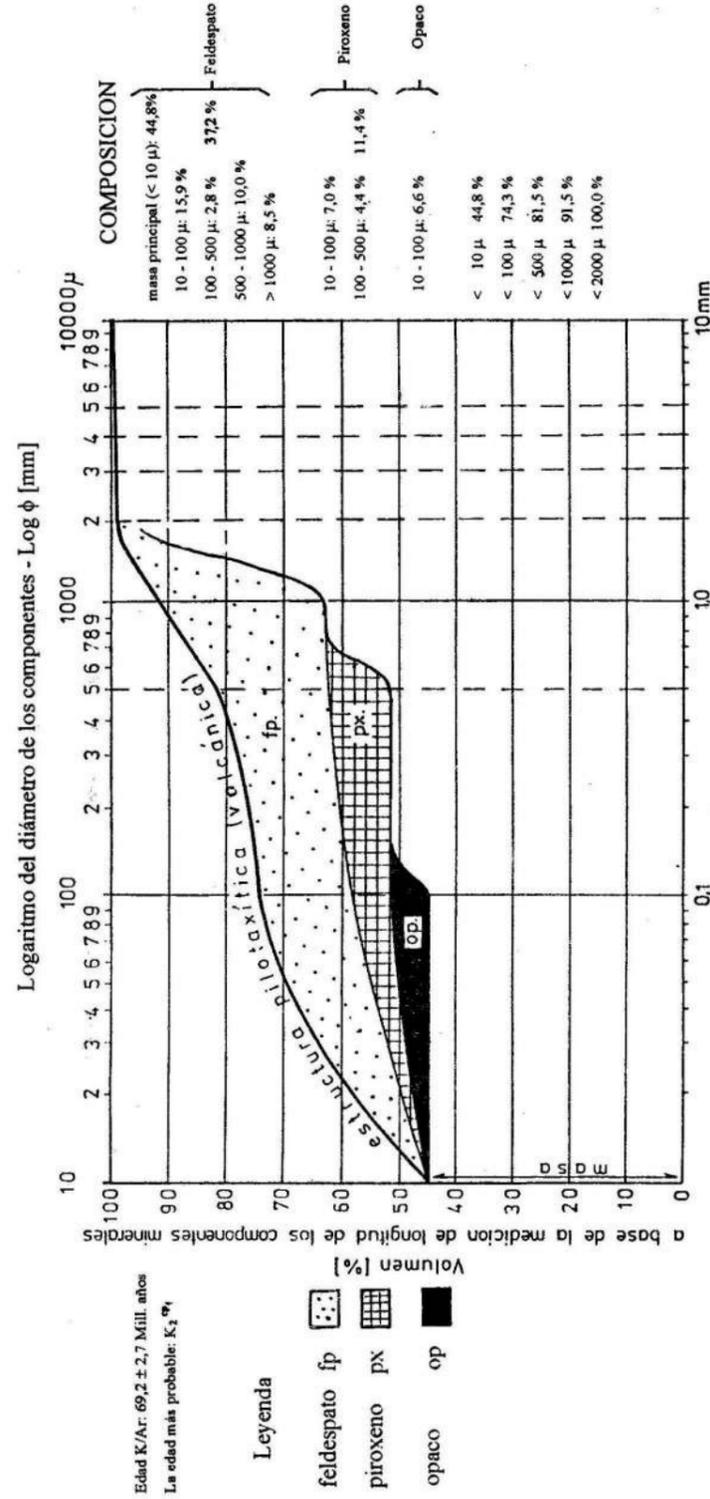
FIGURAS DE LA ESTRUCTURA DE MAGMATITAS EN DIAGRAMA SEMILOGARITMICO



No. de muestra: 5-14-149 Hoja: Hoja 4978-IV / (El Cedón) X=246,85 Y=544,7
Nombre: gabbroanita de color gris cremoso
Formación: roca intrusiva del arco volcánico cretácico, rediseñado como bloque en la Fm. Lj

FIGURA 2a. Curva de estructura y composición mineralógica (muestra 5-14-149).

FIGURAS DE LA ESTRUCTURA DE MAGMATITAS EN DIAGRAMA SEMILOGARITMICO



No. de muestra: 5 - 10 - 59/2 Hoja: Gibara 4979 - II (1 Km al S de La Sirena) X=261,8 Y=566,05
 Nombre: andesita basáltica piroxénica
 Formación: bk¹, m² - k², q²

FIGURA 2b. Curva de estructura y composición mineralógica (muestra 5-14-59/2).

$$C = \sum_{j=1}^m P_j \cdot d_j$$

Generalmente es suficiente ocuparnos de una, dos o tres categorías. Señalamos, que c puede ser calculado por métodos experimentales también.

Para obtener a p con una seguridad de $1-\delta$ y un error $\pm \Delta p$, la cantidad h debe ser al menos $c \cdot \left(\frac{a}{\Delta p}\right)^2$. El valor de a puede ser determinado por la ecuación

$$1 - \Phi(a) = \frac{\delta}{2}$$

donde

$$\Phi(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^a e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BREZINA, J. : Rychla metoda modálny analyzy. Vestnik UUG, vol. 34, 1959.
 CHAYES, F. : Petrographic Modal Analysis. New York, J. Wiley and Sons, 1956.
 DELESSE, A. : Procédé Mécanique pour déterminer la composition des roches. Ann. mines, vol. 13, pp. 379-388, 1848.
 EGERER, F. : Megjegyzések a kozetevz memyisegi microszkopos elemzesehez (en húngaro). Bull. Hungarian Geol. Soc., 106, pp. 290-292, 1976.
 GLAGOLEV, A.A. : On the geometrical methods of quantitative mineralogic analysis of rocks. Trans. Inst. Econ. Min., Moscow, vol. 59, 1933.
 ——— : Quantitative analysis with the microscope ... by the point method. Eng. Min. J., vol. 135, p. 339, 1934.
 JARAI, A. M. KOSAK: Posibilidades para la determinación exacta de las proporciones de volumen y las medidas de los componentes minerales de las rocas en secciones delgadas para microscopio (en Húngaro). Fondo del Dpto. de Miner. y Geol. KLTE, Debrecen, Hungría, 1979.
 JOHANNSEN, A. : A planimeter method for the determination of the percentage composition of rocks. Jour. Geol., vol.27, pp. 276-285, 1919.
 JOLY, J. : The petrological examination of paving sets. Proc. Roy. Dublin Soc., vol. 10, pp. 62-92, 1903.
 KOSAK, M. : Análisis geológico de las relaciones entre las aptitudes petrográficas, erosionales y la transportación en un territorio modelo vulcanógeno. Fondo del Dpto. de Miner. y Geol., KLTE, Debrecen, Hungría, 1979.
 NAGY, E. : Granulometric studies in thin sections (en húngaro). Bull. Hung. Geol. Soc. 88, pp.143-175, 1958.
 ROSUWAL, A. : Ueber geometrische Gesteinsan alysen usw. Verh. der k.k. Geol. Reichsansattl Wien, pp. 143-175, 1898.
 SHAND, S.J. : A recording micrometer for rock analysis. Jour. Geol., vol. 24., pp. 394-403, 1916.
 SORBY, H.C. : On slaty cleavage as exhibited in the Devonian limestones of Devonshire. Phil. Mag., vol. 11, pp. 20-37, 1856.
 SZADECKY-KARDOSS, E. : On igneous rock textures, mineralogical composition and cooling curves. Acta Geol. Acad. Sci. Hung., vol. 11, pp. 271-257, 1967.
 TEXTORIS, D.A. : Grain-Size Measurement in thin section. (Ju: Carver, R.E.: Procedures in Sedimentari Petrology.) Wiley, Interscience. 1971.

Si para la preparación de la sección delgada sólo contamos con una limitada cantidad de material, es decir que no podemos aumentar el valor de h arbitrariamente, entonces podemos dar la seguridad y precisión con el cálculo de Δp y δ .

Con los datos obtenidos y a través de las técnicas de computación podemos obtener muy rápidamente la composición proporcional en peso y volumen, las coordenadas de la curva de composición granular acumulativa, e incluso la separación según los componentes minerales. En las figuras 2a y 2b se muestran, a manera de ejemplos, curvas de estructura y composición mineralógica para dos tipos de rocas magmáticas de la zona de Holguín (Cuba).

Es muy importante subrayar que con la optimización del trabajo pueden evitarse las mediciones innecesarias que exigen un tiempo considerable.

**ACERO
 PARA EL DESARROLLO
 ENTRE EN CONTACTO
 CON NOSOTROS**



EMPRESA IMPORTADORA
 DE METALES, COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES