

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE IMAGEN A LA CARACTERIZACIÓN COMPOSICIONAL DE LA MARMATITA *l.t.* (Marmato, Colombia)

BERREZUETA, E^{1.}, CASTROVIEJO, R^{2.}, ORTIZ, F^{3.}, DOMÍNGUEZ, M.J^{2.} y RAMOS, J.M.F^{4.}

- (1) Recursos Minerales y Geoambiente (Instituto Geológico y Minero de España, Madrid)
- (2) ETSI de Minas (Universidad Politécnica de Madrid)
- (3) Facultad de Minas (Universidad Nacional de Colombia, Medellín)
- (4) Instituto Geologico e Mineiro de Portugal (INETI), Porto.

RESUMEN

El presente trabajo investiga la diferencia existente entre el contenido de Fe teórico definido en *marmatita* (esfalerita con 10% a 26% Fe) y el contenido real (9% Fe) determinado por Microsonda Electrónica (MS) en muestras de este mineral procedentes del *locus typicus*. Se trata de determinar si el mineral estaba correctamente definido en origen, combinando los estudios de MS y el Análisis Digital de Imagen (ADI) sobre probetas pulidas de la Mina de Marmato, Colombia. Se demuestra que las inclusiones microscópicas de otras fases portadoras de Fe (pirrotita, calcopirita) en esfalerita aportan una cantidad de Fe que puede ser significativa (~1.5 % en las muestras analizadas). Dichas fases no podían separarse cuando se definió la marmatita (1929) y, por tanto, el Fe de las mismas se habría atribuido a la esfalerita.

INTRODUCCIÓN y OBJETIVOS

De los análisis realizados con Microsonda Electrónica (IGM, Porto, en 2004 y análisis previos en Universidad de Minnesota) sobre esfaleritas de Marmato, supuestamente marmatitas *l.t.*, resultan valores de Fe reales que se encuentran sistemáticamente en el límite inferior del rango composicional teórico de la marmatita (Hey, 1975) o incluso por debajo de éste (valores medios de 10-12 % en el primer caso y del 9% en el segundo). Como explicación hipotética se atribuye la diferencia a la contribución en Fe de la pirrotita y calcopirita incluidas en la esfalerita, teniendo en cuenta el hecho de que los medios de análisis primitivos (Boussingault (1829), in: Hey, 1975) no permitían discriminar entre el mineral y sus inclusiones. Con el fin de comprobar la validez de esta hipótesis, se ha planteado la valoración cuantitativa del aporte de Fe de la pirrotita y calcopirita presentes como inclusiones en la esfalerita. Para ello, se realiza un análisis modal de la mena real, comprendidas las escenas donde aparece la esfalerita con inclusiones.

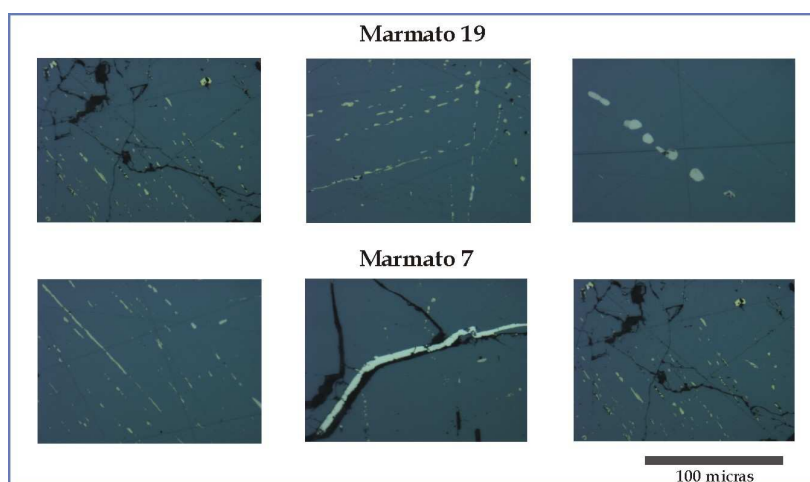


Figura 1. Imágenes minerales obtenidas de las probetas de Marmato.

PLAN DE TRABAJO

Esta determinación se realiza precisamente sobre las muestras más alejadas de la composición teórica, las más pobres en Fe (9%), procedentes de las minas Maruja / La Palma (Marmato, Colombia). La caracterización y cuantificación modal mediante ADI se aborda independientemente para cada una de las dos probetas seleccionadas (Marmato N° 7 y N° 19), mediante cámara vídeo de investigación SONY, color 3 CCD, acoplada a un microscopio de reflexión Leica DMRXP y tarjeta digitalizadora sobre CPU, con el programa Aphelion. La adquisición de las imágenes (Figura 1) se realiza con un objetivo de 20 X que permite apreciar con claridad las pequeñas inclusiones de pirrotina y calcopirita presentes en la esfalerita. Adquiridas las imágenes, el parámetro a cuantificar será el área total de las fases presentes en las escenas estudiadas (esfalerita, calcopirita, pirrotina y otros minerales sin Fe). En total se han evaluado 60 imágenes para cada probeta. La secuencia de trabajo es la siguiente:

- Calcular las áreas (%) de las fases minerales en las imágenes adquiridas (utilizar ADI).
- Determinar el % de área de las fases minerales con Fe (100 % de minerales con Fe), incluida la esfalerita.
- Obtener el % de volumen de las fases minerales con Fe (supuesto % A = %, Russ, 1990).
- Calcular el aporte en masa de dichas fases (densidades medias supuestas: 4,1 para la esfalerita, 4,65 para la pirrotita y 4,3 para la calcopirita).
- Determinar % masa de dichas fases minerales.
- Calcular la contribución de Fe de cada fase mineral (a partir de datos medidos por MS, 9%, para esfalerita y de datos teóricos para pirrotita, 63.57 % , y para calcopirita, 22, 57 %), determinando específicamente el % de contribución de Fe de la pirrotita y calcopirita.
- Calcular el contenido total en Fe resultante, en el supuesto de un análisis químico del conjunto definido por las proporciones de fases minerales ferríferas determinadas por ADI.

RESULTADOS

Análisis de Imagen							
	% Área (totales)		% Área (minerales con Fe)				
	Marmato 19	Marmato 7	Marmato 19	Marmato 7			
Esfalerita	96,93	89,48	97,54	97,60			
Pirrotina	1,76	1,82	1,77	1,98			
Calcopirita	0,69	0,39	0,69	0,42			
Otros	0,62	8,32					
% Área = % Volumen							
Marmato 19							
Minerales	% volumen	densidad	masa	% masa	% Fe	Contribución Fe	% Fe aportado
Esfalerita	97,54	4,10	399,89	97,36	9,00	8,76	9,00
Pirrotina	1,77	4,30	7,62	1,86	63,57	1,18	1,21
Calcopirita	0,69	4,65	3,22	0,79	22,57	0,18	0,18
	100,00		410,74	100,00			
% de Fe en la esfalerita y sus inclusiones							10,39
Marmato 7							
Minerales	% volumen	densidad	masa	% masa	% Fe	Contribución Fe	% Fe aportado
Esfalerita	97,60	4,10	400,14	97,44	9,00	8,77	9,00
Pirrotina	1,98	4,30	8,53	2,08	63,57	1,32	1,36
Calcopirita	0,42	4,65	1,97	0,48	22,57	0,11	0,11
	100,00		410,65	100,00			
% de Fe en la esfalerita y sus inclusiones							10,47

Tabla 1. Contribución de Fe de las inclusiones de Pirrotita y Calcopirita en la Marmatita

Los resultados del estudio modal de las dos probetas son similares (Tabla 1). En el caso de la pirrotina, la contribución de Fe oscila entre 1,21% y 1,36%; la contribución de Fe de la calcopirita es menor, oscilando entre 0,11% y 0,18%. Estos valores permiten establecer que, en conjunto, el contenido en Fe de la esfalerita se incrementa en ~ 1.4% sobre el valor obtenido medido mediante MS sobre esta fase mineral (pura). Esto supondría un contenido total de Fe de la mena equivalente aproximadamente a 10,4 %, que ya entra dentro del rango supuesto para la marmatita, aunque una parte se debe a las inclusiones citadas.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista mineralógico, estos resultados, al tiempo que dan una posible razón de las discrepancias analíticas históricas, cuestionan la pertinencia de la definición de marmatita, criticada también desde otros puntos de vista en la literatura internacional.

Desde el punto de vista metodológico, la técnica de ADI reafirma su importancia como herramienta fiable y eficaz en la cuantificación y caracterización de fases minerales y, en particular, como fuente de información en la solución de planteamientos científicos relacionados con la mineralogía.

Desde el punto de vista de la cuantificación modal, los valores obtenidos han de recibirse con cierta cautela, no por las determinaciones analíticas en sí, rigurosamente contrastadas (ADI: Berrezueta, 2004), sino por los problemas inevitables de representatividad estadística de las muestras para los minerales escasos (pirrotita y calcopirita), ya que la incertidumbre relativa del valor modal determinado para una fase mineral aumenta muy significativamente cuando disminuye su abundancia (Castroviejo et al., 1999).

BIBLIOGRAFÍA

- Berrezueta, E. (2004). Tesis de Doctoral. E.T.S.I. de Minas. Universidad Politécnica de Madrid, 350 pp.
- Castroviejo R., Chacón E., Múzquiz C., Tarquini S. (1999) A preliminary image analysis characterization of massive sulphide ores from the SW Iberian Pyrite Belt (Spain). Geovison 99, Univ. Liège, Belgium, Proc. pp. 37-40.
- Hey, M.H., (1975). An Index of mineral species and varieties. Arranged chemically. Ed. British Museum (NH, Londres) Vol 1.. 727 pp.
- Russ, J.C. (1990). Computer-Assisted Microscopy. The measurement and analysis of images. Plenum Press, New York. 450 pp.