

## Estudio morfológico, mediante luz reflejada, de piritas procedentes de mina "Solitaria" (Arres, Vall D'Arán, Lérida)\*

por AURELIO ÁLVAREZ-PÉREZ \*\*, JUAN A. CAMPA-VIÑETA \*\* y JOAQUÍN MONTORIOL-POUS \*\*, \*\*\*

### RESUMEN

Se lleva a cabo el estudio y la interpretación de los diferentes tipos de cristales de pirita que se encuentran en el yacimiento Mina "Solitaria" (Arrés, Vall d'Aran, Lérida).

### RÉSUMÉ

On fait l'étude et l'interprétation des différents types de cristaux de pyrite qu'on trouve dans le gîte Mina "Solitaria" (Arrés, Vall d'Aran, Lérida).

### INTRODUCCIÓN

Una de las consecuencias de los modernos estudios llevados a cabo sobre el metamorfismo de menas minerales, ha sido el establecer la existencia de fenómenos de fusión parcial (*partial melting*) de mezclas de sulfuros, en aquellos casos en que la composición es adecuada. Estas ideas vienen apoyadas por los trabajos experimentales de KULLERUD (1966) y colaboradores (BRETT y KULLERUD, 1967), quienes han estudiado distintos diagramas de estabilidad de fases sulfuradas. En la actualidad se dispone de una extensa bibliografía sobre el tema, de la que nos interesa citar los trabajos de MOOKHERJEE y DUTTA (1970) sobre el Quebec y los de STANTON y GORMAN (1972), GILL (1969) y LAWRENCE (1973) sobre la morfología de las menas metamórficas.

El objeto del presente trabajo es aplicar los actuales conocimientos sobre el tema al estudio morfológico de ejemplares de pirita recolectados en el yacimiento Mina "Solitaria" (Arrés, Vall d'Arán, Lérida). Dada

la absorción del material, las observaciones se han llevado a cabo mediante la técnica de luz reflejada sobre superficies previamente pulidas.

### EL YACIMIENTO

La zona en que se halla situado el yacimiento "Mina Solitaria" está constituido por un conjunto de rocas antiguas que se sitúan en el Cambro-ordovícico, el cual presenta, de abajo hacia arriba, la siguiente sucesión:

— Alternancia de calizas y mármoles, con intercalaciones de sílex, cuarcitas y pizarras areniscosas (con mayor desarrollo hacia el E).

— Sucesión monótona de pizarras oscuras, pizarras grises, cuarcitas y pizarras areniscosas.

— Calizas metalíferas (aparecen únicamente en la región central).

Encima se desarrolla un Silúrico de facies muy uniforme, constituido en su mayor parte por pizarras. Sobre él se halla el Devónico, de gran potencia. Finalmente, el conjunto está recubierto por un Cuaternario aluvial y morrénico (BOSCHMA, 1963).

Estructuralmente, se trata de un bloque basculado del Cambro-ordovícico, en donde aparece un filón mineral en la falla que lo limita por el SW.

La masa mineral se halla formada primordialmente por sulfuros; las especies mayoritarias son esfalerita y galena, las cuales se encuentran acompañadas por pirita, pirrotina, pequeñas cantidades de cubanita y magnetita. La ganga está constituida por silicatos típicamente metamórficos, tales como granates y termolita. Las dos especies mayoritarias ofrecen las siguientes características: 1. Esfalerita: tamaño de grano de 0,5 a 2 mm; inclusiones de cuarzo y otros silicatos; maclas de deformación muy desarrolladas; bordes irregulares con estructura pseudo-gráfica (*pseudographic interground*) (LAWRENCE, 1973); 2. Galena: en íntimo contacto con la esfalerita; inclusiones de cubanita; por

\* Este trabajo forma parte de la Tesis doctoral del primero de los que suscriben y ha sido realizado gracias a una Beca en equipo de la Fundación "Juan March", correspondiente al Departamento de Geología. La investigación cae dentro de la línea general programada por el Departamento de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad de Barcelona, acogido al Fomento de la Investigación en la Universidad.

\*\* Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Universidad de Barcelona.

\*\*\* Sección de Mineralogía, Instituto "Jaime Almera", C.S. de I.C., Barcelona.

su gran plasticidad, aparece relleno de grietas de la roca debido a su inyección durante un proceso de compresión.

La caja del filón está constituida por micaesquistos replegados, pudiéndose observar en ciertas zonas pegmatitas muy sericitadas.

Generalmente, la potencia del filón no sobrepasa unos pocos centímetros, aunque en algunos puntos ésta puede aumentar por entrecruzamiento de las dos ramas que contienen la mineralización. Dichas ramas aparecen estructuradas sobre un sistema de diaclasas hercinianas, rejuvenecidas durante la orogénida alpina (ZWART, 1963), siendo sus respectivas orientaciones N20-45W y E30N.

La masa mineral ha sido afectada por dos procesos metamórficos:



Fig. 1. — Series de roturas en la pirita (blanco) que han sido rellenas por silicatos (negro). (Luz reflejada, 60 X.)

1. Metamorfismo dinámico y térmico, debido a los movimientos tectónicos, puesto de manifiesto por: a) presencia de granates procedentes de la roca encajante que han penetrado en la mineralización; b) estructuras de fusión en la masa mineral.

2. Metamorfismo térmico, puesto de manifiesto por: a) presencia de puntos triples de recristalización; restos de estructuras en pompas de jabón (*bubbles-shaped*) (LAWRENCE, 1973).

## ESTUDIO DE LOS CRISTALES DE PIRITA

### A. TÉCNICA UTILIZADA

Para llevar a cabo el estudio de los cristales de pirita se realizó un muestreo sistemático de la roca encajante y de la masa mineral. Las muestras fueron

cortadas en prismas de  $3 \times 2 \times 1$  cm y englobadas en resina sintética Resisa Polylyte 32.032, polimerizada con catalizador M.E.K.P. al 50 por ciento. Se pulieron con pasta de diamante hasta  $5 \mu$  y se efectuó su estudio microscópico mediante la técnica de luz reflejada.

Paralelamente, y a fin de comprobar la validez de las identificaciones microscópicas, se aplicó la difracción de rayos X directamente sobre la probeta. Este método ofrece la ventaja de que la determinación difractométrica se lleva a cabo exactamente sobre la zona que va a ser estudiada mediante óptica de luz reflejada. Para comprobar la validez del procedimiento, se aplicó sobre diez probetas que fueron posteriormente trituradas y estudiadas mediante el método del polvo cristalino. Las dos series de diez difractogramas fueron, en todo, semejantes.

### B. TIPOS DE CRISTALES

#### a. Cristales en la roca de caja

Pueden presentar morfologías diferentes según los procesos por los que se han visto afectados.

1. Los cristales aparecen alargados y dispuestos paralelamente a las trazas de los planos de foliación.

2. Los cristales se encuentran diseminados entre la roca, pero presentan una cierta orientación dominante. Sus bordes son irregulares tendiendo a dar formas más o menos redondeadas.

3. Los cristales se presentan como agregaciones de formas esqueléticas, con inicio de formas rectas en los bordes. Dichas estructuras esqueléticas son el resultado de una reabsorción de la pirita por parte de los silicatos de la roca.

#### b. Cristales en el borde de la mineralización

1. Cristales de cataclasis.

Se trata de cristales ( $> 1$  mm) localizados en los esquistos carbonosos que constituyen la capa externa de la mineralización y formados simultáneamente con los mismos gracias al ambiente reductor y a la presencia de bacterias anaerobias. Durante la orogénesis herciniana los estratos fueron plegados y se fracturaron los granos de mineral depositado. Pueden observarse claramente direcciones predominantes de cataclasis, debidas al control estructural de los planos reticulares (210) de la pirita (GRAF y SKINNER, 1970).

2. Cristales de metamorfismo dinámico.

En los micaesquistos que constituyen la formación inmediatamente inferior a los esquistos carbonosos citados en el párrafo anterior, se localizaron cristales alargados de pirita, cuyo eje mayor difiere en pocos

grados de la orientación de los planos de foliación. En sus extremos se observan sombras de presión (*pressure shadow*), debidas a desplazamientos sufridos por los cristales y al relleno de su primitivo lugar por cuarzo no cataclástico.

El estudio de los cristales pone de manifiesto que las inclusiones que contienen se hallan alineadas paralelamente a los planos de foliación de los micaesquistos; o sea que tales alineaciones forman con el eje mayor de los cristales un ángulo igual al de los citados

planos de foliación. Ello pone de manifiesto que se engendraron durante el metamorfismo regional, pero que su alargamiento es anterior a la formación de los planos S (MOOKHERJEE y DUTTA, 1970).

### c. Cristales en la mineralización

#### 1. Provenientes de la roca encajante.

La estructura general de la mineralización sufre un cambio gradual desde los bordes hasta el centro de la

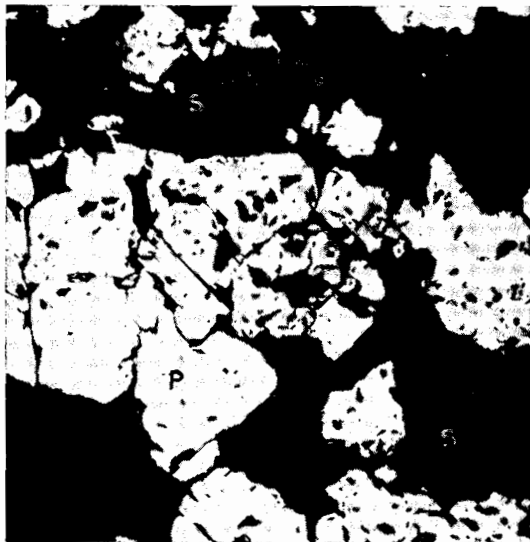


FIG. 2. — Estructura cataclástica de la pirita. (Luz reflejada, 60 X.)

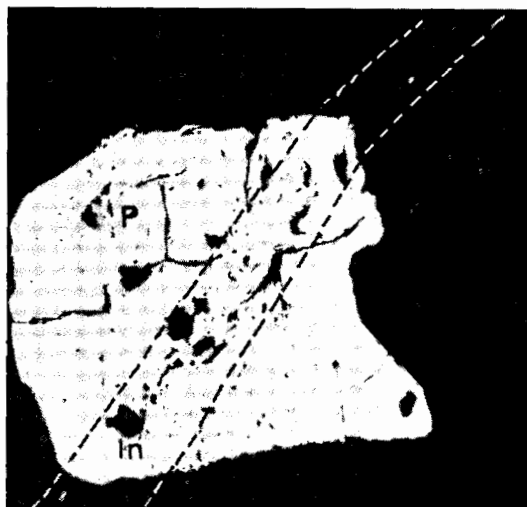


FIG. 4. — Cristal de pirita (P) mostrando las inclusiones alineadas (In) siguiendo la dirección de los planos de foliación. El borde de grano curvado en contacto con la sombra de presión pone de manifiesto su reactividad. (Luz reflejada, 100 X.)

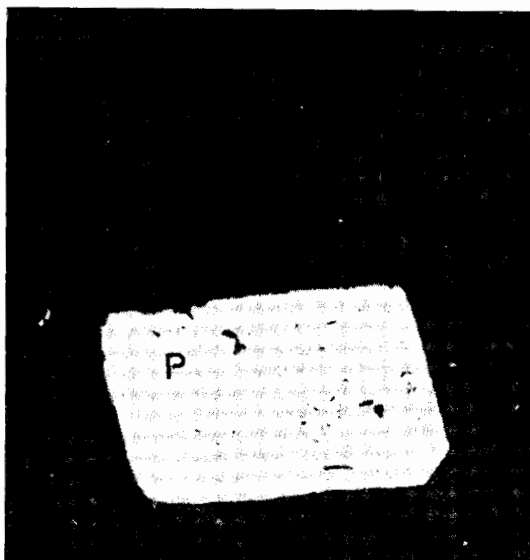


FIG. 3. — Cristal de pirita (P) en una matriz de silicatos. Se observa claramente la sombra de presión (ps), ocupada por cuarzo. (Luz reflejada, 95 X.)

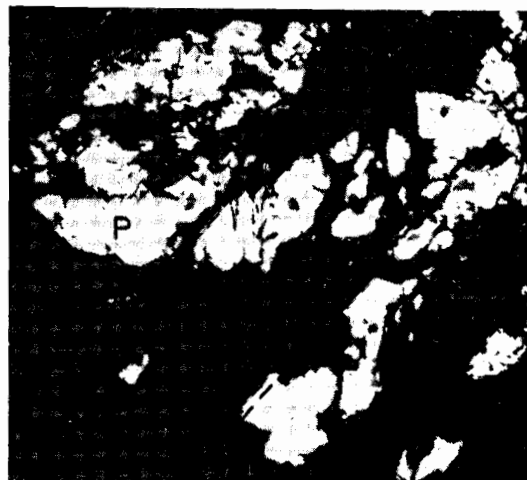


FIG. 5. — Pliegue de pirita, fracturado en pequeños granos de bordes muy reactivos. (Luz reflejada, 85 X.)

misma; pasándose de una masa de roca triturada entre la cual se encuentran escasas cantidades de mineral, hasta una masa de galena-esfalerita entre la cual se aprecian fragmentos de roca aislada.

La matriz de galena-esfalerita presenta una estructura pseudo-gráfica con numerosas inclusiones de gra-

tales de pirita previamente existentes en la roca; éstos, al estar sometidos a un rodamiento simultáneamente con una temperatura elevada, adoptaron formas redondeadas, con un borde liso según la dirección de avance, y otro más o menos irregular que constituiría el equivalente de la sombra de presión de los cristales



FIG. 6. — Texturas fluidales en la pirita (P). (G, galena; S, silicatos.) (Luz reflejada, 85 X.)

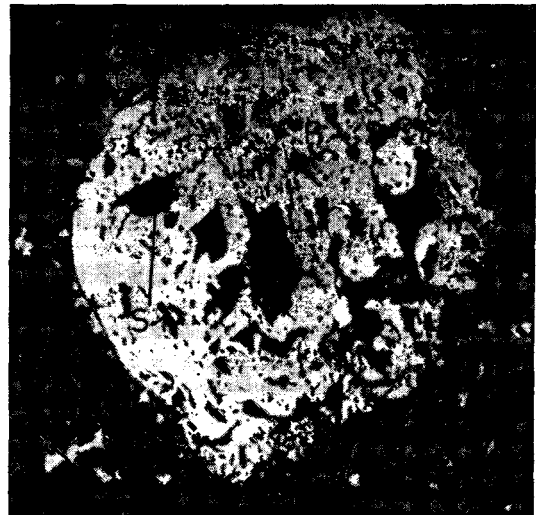


FIG. 8. — Grano de pirita (P), con abundantes inclusiones de silicatos (S), rodado en una matriz de esfalerita (E) y galena (G). (Luz reflejada, 85 X.)

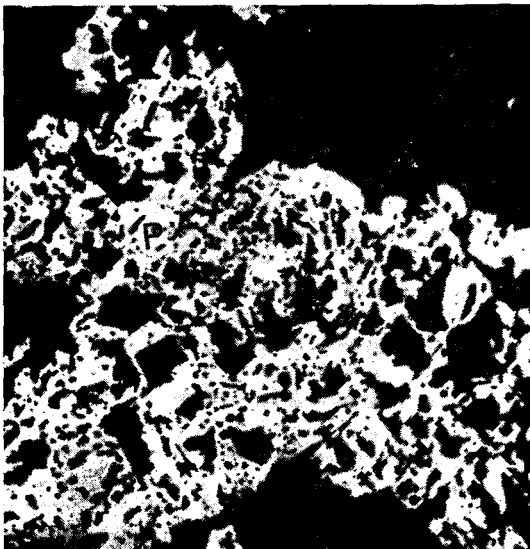


FIG. 7. — Texturas esqueléticas en la pirita (P). (Luz reflejada, 100 X.)



FIG. 9. — Granos de recristalización de pirita (P), con inclusiones de galena (Ga), en una matriz de esfalerita (E) y galena (G). (Luz reflejada, 120 X.)

nos de silicatos de la roca, los cuales aparecen marcadamente redondeados gracias a que sincrónicamente con su desplazamiento fueron sometidos a una temperatura elevada. Conjuntamente con la inclusión de los silicatos, la matriz de galena-esfalerita englobó cris-

sometidos a deslizamiento. Esta génesis viene apoyada por la morfología de la matriz, en la cual los silicatos presentan una banda de reactividad.

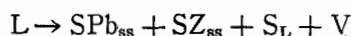
Las inclusiones de silicatos dentro de los cristales de la mineralización (inclusiones de tamaño grande y de

igual naturaleza que las que se hallan en la matriz), tienen su origen en la rotación del grano, en un estado de plasticidad mayor que la del silicato que incluye.

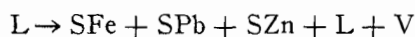
## 2. Piritas de recristalización.

En contacto con la galena, se encuentran cristales de pirita más o menos redondeados, pero presentando caras planas bien desarrolladas; algunas veces con bordes amigdaloides y con inclusiones de galena. Se observa, pues, una interdependencia galena-pirita.

Sin embargo, la galena forma una estructura de intercrecimiento gráfico con la esfalerita, cuya génesis es,



produciéndose alrededor de los 743 °C, punto en que la pirita está ausente (KULLERUD, 1966, BRETT y KULLERUD, 1967). Si considerados que a partir de un líquido se ha producido pirita, galena y esfalerita,



podemos admitir, con AVETISYAN y GNETYSHENKO (1956), que el punto de fusión se halla a 820 °C. Por otra parte (BRETT y KULLERUD, 1967) en las mezclas galena-esfalerita-pirita, pueden aparecer piritas por debajo de los 700 °C, debido a que la presencia de esfalerita rebaja el punto de fusión de la mezcla. Es por todo ello que podemos considerar que las piritas han cristalizado alrededor de los 700 °C.

La serie de datos adquiridos mediante el estudio de las piritas de Mina "Solitaria", integrados a los proporcionados por el estudio de las otras especies minerales presentes, servirán para interpretar la génesis del yacimiento y sus relaciones con los movimientos

geotectónicos y las fases del metamorfismo. Sin embargo, antes de dar por terminado el presente trabajo, queremos dejar constancia del interés que presenta el estudio detallado de las estructuras de las piritas de un yacimiento, ya que gracias por una parte a su estabilidad y por otra a su fragilidad, constituyen un excelente "registro" de la historia geológica del criadero.

## BIBLIOGRAFÍA

- AVETISYAN, KH. K. y GNETYSHENKO, G. I. (1956): "Thermal and Metallographic study of the sulfide-zinc, sulfide-iron sulfide system". Res. en *Chem. Abst.* (1960), 54, 16.154.
- BOSCHMA, D. (1963): "Successive hercynian structures in some areas of the central Pyrenees". *Leidse geologische Mededelingen*, 28, 106.
- BRETT, R. y KULLERUD, G. (1967): "The Fe-Pb-S system". *Economic Geology*, 62, 354.
- GILL, J. E. (1969): "Experimental Deformation and Annealing of Sulfides and Interpretation of Ore Textures". *Economic Geology*, 64, 500.
- GRAF, J. C. y SKINNER, B. J. (1970): "Strength and Deformation of Pyrite and Pyrrhotite". *Economic Geology*, 65, 206.
- KULLERUD, G. (1966): "High Temperature Phase Relation in the Cu-Fe-S system". *Carnegie Institution*, 404.
- LAWRENCE, L. J. (1973): "Polymetamorphism of the Sulphide Ores of Broken Hill, N.S.W., Australia". *Mineralium Deposita*, 8, 211.
- MOOKHERJEE, A. (1970): "Dykes Sulphide Deposits and Regional Metamorphism Criteria for Determining their Time Relationship". *Mineralium Deposita*, 5, 120.
- MOOKHERJEE, A. y DUTTA, N. K. (1970): "Evidence of Incipient Melting of Sulfides Along a Dike Contact, Geco Mine, Manitouwadge, Ontario". *Economic Geology*, 65, 706.
- STANTON, R. L. y GORMAN, H. W. (1972): "Experiments on a Specimen of Galena Ore from Coeur d'Alene, Idaho". *Economic Geology*, 67, 776.
- ZWART, H. J. (1963): "Metamorphic history of the Central Pyrenees. Part II, Valle de Arán, Sheet, 4". *Leidse geologische Mededelingen*, 28, 321.