

Identificación de diversas fases de metamorfismo regional en las mineralizaciones de Bossost (Vall d'Arán, Lérida)¹

por AURELIO ÁLVAREZ-PÉREZ,² JUAN A. CAMPÁ-VIÑETA² y JOAQUÍN MONTORIOL-POUS^{2,3}

RESUMEN

El metamorfismo desarrollado en el Pirineo central afecta conjuntamente a los estratos y a las mineralizaciones en ellos englobadas. Se lleva a cabo el estudio comparativo entre las estructuras metamórficas desarrolladas en la roca y la sucesión de fases metamórficas en las masas mineralizadas.

SUMMARY

The metamorphism developed in the central Pyrenees affects the sedimentary strata and the ores included in them. The metamorphic structures developed in the wall rock and the different metamorphic phases in the ores are studied.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Mittelpyrenäen der Metamorphism den Stratus und die Vererzungen zusammen vorgiebt. Es ist der vergleichene Studium zwischen der metamorphischen Strukturen im Gestein entwickelt und der folgenden metamorphischen Phasen im Erz studiert werden.

INTRODUCCIÓN

La zona estudiada forma parte de la zona axial del Pirineo y comprende el complejo polimetamórfico de Bossost (Vall d'Arán, Lérida), del cual consideraremos solamente los yacimientos Victoria, Font dels Lladres y Sauvadera, cuya evolución es semejante. Todos ellos contienen mineralizaciones de esfalerita-galena-pirita-pirrotina.

MOOKHERGE (1968) y VOKES (1971) han estudiado las modificaciones químicas y estructurales producidas por el metamorfismo; McDONALD (1967) y VOKES (1969) señalaron el interés que presenta el estudio de las relaciones que ligán las fases metálicas

con las rocas metamórficas del metalotecto; y LAWRENCE (1973) establece un esquema fundamental que relaciona las texturas presentadas por los sulfuros y el tipo de metamorfismo que los ha afectado. El objeto del presente trabajo es buscar las relaciones existentes entre los distintos tipos de metamorfismo y las texturas que muestran los sulfuros de los tres yacimientos anteriormente citados.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las mineralizaciones de la zona de Bossost, tal como hemos demostrado en una anterior comunicación (MONTORIOL-POUS, CAMPÁ-VIÑETA y ÁLVAREZ-PÉREZ, 1974), son de origen sedimentario y, por efecto del metamorfismo, han sufrido una amplia removilización mecánica que ha concentrado parte de los sulfuros en zonas de fractura. Se encuentran situados en un área de estratigrafía monótona que comprende terrenos del Cambro-ordovícico, Silúrico y Devónico. Una formación de calizas marmorizadas del Cambro-ordovícico superior señala el techo de las mineralizaciones.

La actividad orogénica abarca desde después del Carbonífero (movimientos hercinianos) hasta el Eoceno superior (movimientos alpinos). ZWART (1963) distingue cuatro fases tectónicas y BOSCHMA (1963) añade una quinta fase de distensión con la formación de *kinks*. Es evidente que los movimientos tectónicos han actuado simultáneamente sobre los sedimentos y sobre las mineralizaciones singenéticas que contienen; la zona aparece profundamente plegada y fracturada y los sulfuros han sido inyectados dinámicamente en sedimentos silúricos.

Los movimientos tectónicos desencadenaron procesos de metamorfismo de intensidad correlativa a la de las fuerzas de plegamiento. BESSON (1972) admite un metamorfismo de contacto sobrepuesto, en algunos puntos, a un metamorfismo regional de epizona. GABELMAN y KUISIENINSKI (1972) indican que se trata de una zona de baja temperatura con una mi-

1. Este trabajo 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.

2. Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Universidad de Barcelona.

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

gración química muy limitada. La presencia de gahnita ferrífera (ÁLVAREZ-PÉREZ, CAMPÁ-VIÑETA y MONTORIOL-POUS 1974) supone el desarrollo de una fase pegmatítica (RAMDOHR 1966).

PARAGÉNESIS

Mina "Victoria"

Se halla localizada en la facies de esquistos verdes. Existe pirita singenética profusamente fracturada y dislocada, sin apenas removilización, y pirita cuya presencia se debe a removilización mecánica y presenta numerosos bordes redondeados por fricción. La galena y la esfalerita acostumbra aparecer mezcladas, con predominio de la segunda; presentan textura en mosaico, a veces granoblástica; el origen de estas asociaciones es generalmente mecánico. La calcopirita se presenta en pequeños filoncillos con granulación heterométrica y numerosas formas ameboides, conteniendo inclusiones de galena y pirita y asociaciones mecánicas con la esfalerita. La galena se encuentra muy pocas veces separada de la esfalerita y pueden observarse cristales de la misma, deformados y alargados, que aparecen inyectados entre las cloritas de la roca encajante. La asociación pirita-pirrotina es frecuente y no siempre de origen mecánico (FRIEDMAN 1959, SCHWARTZ 1937).

Mina "Sawadera" y mina "Font dels Lladres"

Se describen conjuntamente ya que presentan características semejantes. La galena es muy abundante y se encuentra concentrada mecánicamente en los planos de separación de las láminas de clorita, formando numerosas y delgadas venillas que envuelven los ocelos del gneis; corta asimismo numerosas formaciones minerales y engloba cristales de pirita, esfalerita, pirrotina y calcopirita, formando asociaciones con ellas en porcentajes muy variados. La pirita proviene en su mayor parte de removilización. La pirrotina se presenta en capas situadas en las partes más exteriores de los pliegues anticlinales en cuyos núcleos se encuentra el gneis y aparece fuertemente granulada con tendencia a la milonitización.

En la roca encajante de los tres yacimientos se ha detectado cuarzo, moscovita, biotita, clorita, diópsido, estauroлита y granate.

TIPOS DE METAMORFISMO REGIONAL

El metamorfismo regional presenta un período en el cual la presión domina sobre la temperatura, denominado dinamotérmico por algunos autores (VOKES 1968), y considerado como parte del metamorfismo progresivo (LAWRENCE 1973). Abundan en él las deformaciones y las formas cataclásticas.

Con el aumento progresivo de la temperatura la plasticidad de la roca aumenta asimismo y se producen las mayores deformaciones, teniendo lugar incluso fusiones parciales (CAMPÁ-VIÑETA, ÁLVAREZ-PÉREZ y MONTORIOL-POUS 1976) y abundantes recristalizaciones. Los minerales de gran energía de formación, como la arsenopirita y la pirita, forman metacristales (VOKES 1968) y los minerales de baja energía de formación, como la galena, calcopirita, esfalerita y pirrotina, presentan bordes de reacción.

Al descender la temperatura tiene lugar el metamorfismo retrógrado, que ZWART (1963) sitúa en la cuarta y última fase tectónica hercíniana, durante la cual aparecen pegmatitas y gahnita (ÁLVAREZ-PÉREZ, CAMPÁ-VIÑETA y MONTORIOL-POUS 1974) y tiene lugar la fracturación de la zona con removilización mecánica de materiales. Sin embargo, podemos adelantar que los trabajos en curso de realización en el valle del río Unyola han puesto de manifiesto la presencia de la orogénesis alpina, con la cual podría estar relacionado el citado metamorfismo; es este un problema que será estudiado en futuras comunicaciones.

Las fases citadas determinan estructuras características, pudiéndose distinguir claramente las formas propias del metamorfismo progresivo y las formas propias del metamorfismo retrógrado.

METAMORFISMO PROGRESIVO

Las texturas cataclásticas obedecen a una fase metamórfica de baja temperatura, durante la cual las rocas y los minerales reaccionaron de un modo rígido ante los mecanismos de deformación. La pirita y la arsenopirita presentan una serie gradual de formas cataclásticas. Pueden apreciarse fisuras de diverso desarrollo, limitadas al dominio del cristal, en alguna de las cuales ha penetrado material de la matriz (fig. 1). La rotura de la pirita dio lugar a una frag-

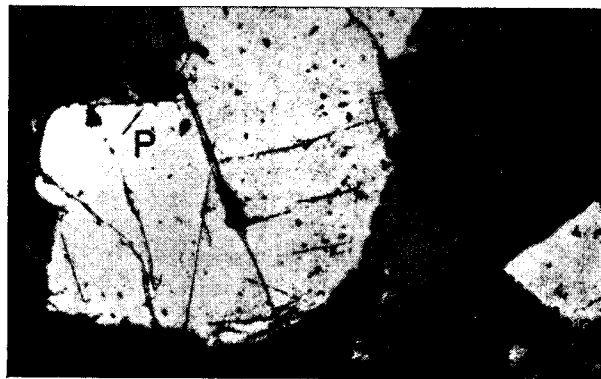


FIG. 1. — Mina "Victoria", m. 105. P, pirita; Q, cuarzo. NP, luz reflejada.

mentación heterométrica, y posteriormente, debido a un aumento de la temperatura, algunos de los clastos recrystalizaron parcialmente dando perfiles idiomorfos que han permanecido separados entre sí sin llegar a formar grandes cristales.



FIG. 2. — Mina "Font dels Lladres", m. 104. Q, cuarzo. NC, luz transmitida.

Las texturas de deformación son las producidas a baja temperatura (*cold working*) sin presencia de agua (NIGGLI 1954), mediante procesos mecánicos que fundamentalmente desarrollaron una esquistosidad. Los clastos de pirita diseminados en la matriz se orientan paralelamente a los planos de esquistosidad de la roca.

Las texturas miméticas se forman a alta temperatura (*hot working*) y proceden de una recrystalización que afecta a los materiales de la roca sin cambiar la disposición de los mismos y dando lugar a una textura cristaloblástica que imita la esquistosidad (fig. 2). Este aumento de temperatura hace que los sulfuros rígidos se comporten plásticamente y se deformen alargándose en sentido perpendicular a la fuerza externa (DUNNET y McMOORE 1969; BROPHY, ROSE y WULF 1968; READ y SCHOCKLEY 1952; LAWRENCE 1972).

La recrystalización se presenta cuando el grado de energía del sistema es muy elevado y se da conjuntamente en las diferentes fases presentes en el yacimiento. Puede tener lugar tanto en el metamorfismo progresivo como en el retrógrado (LAWRENCE 1973, SCHADLUM 1971); sin embargo, la corrección conjunta de silicatos y sulfuros es propia del metamorfismo progresivo (LAWRENCE 1973) (fig. 3).

El máximo efecto de metamorfismo en los sulfuros se da en las zonas de mineralizaciones complejas, en donde aparecen estructuras mirmequíticas de intercrecimiento de varios sulfuros que llegaron a fundir parcialmente (CAMPÁ-VIÑETA, ÁLVAREZ-PÉREZ y MONTORIOL-POUS 1976). En la roca encajante viene

determinado por la aparición de nuevos minerales que marcan el máximo grado de metamorfismo de la zona. Sin embargo, existe un desfase cronológico entre ambos ya que la roca pierde plasticidad antes que el mineral.

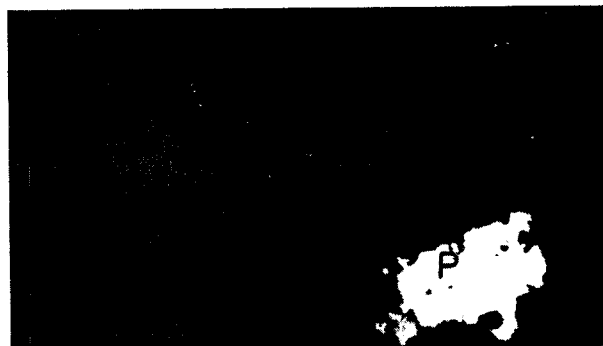


FIG. 3. — Mina "Font dels Lladres", m. 105. G, galena; Q, cuarzo; P, pirita. NP, luz reflejada.

METAMORFISMO RETRÓGRADO

El fenómeno más difundido es la formación de brechas en las fisuras por donde ha tenido lugar la migración de materiales; los fragmentos removilizados de roca encajante forman clastos angulosos en contacto con el mineral asimismo fragmentado y removilizado. Si los minerales son de durezas diferentes tiene lugar una fragmentación in situ del mineral más blando por el más duro (fig. 4). La for-

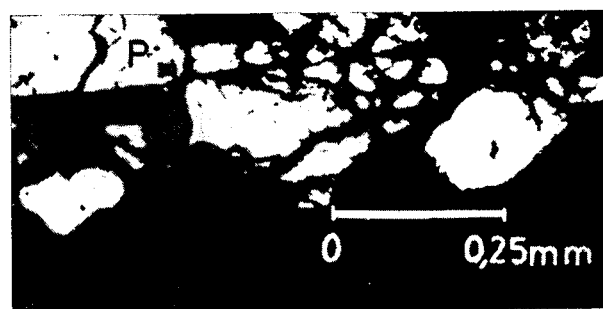


FIG. 4. — Mina "Victoria", m. 109. P, pirita. NC, luz transmitida.

mación de brechas puede dar lugar a recrystalizaciones, pero el tamaño de los granos formados es más pequeño que el de los engendrados durante el metamorfismo progresivo (fig. 5).

La galena recrystalizada durante el metamorfismo progresivo reacciona a las deformaciones de baja

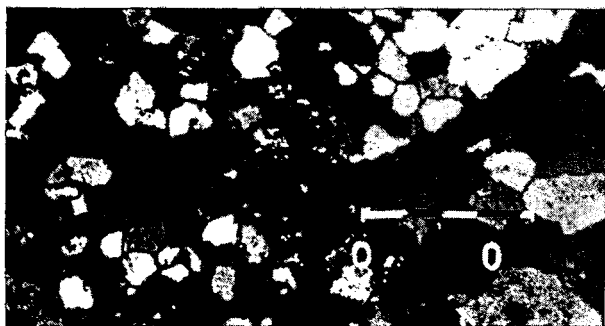


FIG. 5. — Mina "Sauvadera", m. B. Q, cuarzo. NC, luz transmitida.

temperatura con una subgranulación interna, que puede presentar una orientación preferente. Las líneas de subgranulación quedan interrumpidas por las líneas de exfoliación (fig. 6).



FIG. 6. — Mina "Font dels Lladres", m. 101 b. G, galena. Luz reflejada con contraste interferencial según Nomarski.

La descompresión debida a la fracturación de la roca encajante, puede dar lugar a removilizaciones de la masa mineral; se originan estructuras en mosaico con formas pseudo-gráficas de reacción (fig. 7).



FIG. 7. — Mina "Sauvadera", m. 110. G, galena; E, esfalerita. NP, luz reflejada.

La inyección mecánica de sulfuros en las fracturas de la roca da lugar a estructuras pseudo-fluidales, abundantes en la galena cuya laminación fácil la hace propensa a ser inyectada en los planos de discontinuidad de la clorita (fig. 8).

El descenso de la temperatura disminuye la plasticidad de los minerales, los cuales, por efecto de la removilización, tienden a resultar milonitizados; en tales zonas es difícil diferenciar los diversos componentes que las constituyen, debido al pequeño tamaño de grano a que quedan reducidas.



FIG. 8. — Mina "Font dels Lladres", m. 101 b. G, galena; Mi, micas. NP, luz reflejada.

CONCLUSIONES

Los efectos del metamorfismo en las rocas han sido ampliamente estudiados (NIGGLI 1954, BAYLY 1968, RAMBERG 1952) y tienen una correspondencia con las estructuras que presentan los minerales sin-génicos en ellas englobados; estructuras que pueden servir para interpretar el metamorfismo de los citados yacimientos.

La roca encajante y la masa mineral se enfrían simultáneamente, pero, al fracturarse la roca y provocarse la removilización, la masa mineral vuelve a adquirir cierta energía, la cual hace que se consiga en algunos puntos de la masa el máximo de temperatura: es por ello que las figuras de fusión de los sulfuros son sincrónicas del metamorfismo retrógrado en la roca.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. D. JORGE CARRERAS, del Departamento de Petrología de la Universidad de Barcelona, por su colaboración en la interpretación de las preparaciones en lámina delgada de roca encajante.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ-PÉREZ, A., CAMPÁ-VIÑETA, J. A. y MONTORIOL-POUS, J. (1974): "Sobre la presencia de gahnita ferrífera en Bossost (Vall d'Aran, Lérida)". *Acta Geológica Hispánica*, 9, 3, 111.
- BAYLY, B. (1968): "Introducción a la Petrología". *Ediciones Paraninfo*, Madrid.
- BESSON, M. (1972): "Le gisement de plomb et de zinc de Pierrefite". *XXIV International Geological Congress*, Se. 4, 335.
- BOSCHMA, D. (1963): "Successive hercynian structures in some areas of the Central Pyrenees". *Leidsse geol. Med.*, 28, 106.
- BROPHY, J. M., ROSE, R. y WULFF, J. (1968): "Ciencia de los materiales, II Propiedades termodinámicas". *Limusa-Wiley*, México.
- CAMPÁ-VIÑETA, J. A., ÁLVAREZ-PÉREZ, A. y MONTORIOL-POUS, J. (1976): "Sobre la presencia de una fusión local de sulfuros en mina "Solitaria" (Vall d'Aran, Lérida). *Acta Geol. Hispánica* 11 (3): 79-83.
- DUNNET, D. and MOORE, L. Mc. (1969): "Inhomogenous strain and the remobilization of ores and minerals". *Convegno sulla remobilizzazione dei minerali metallici e non metallici*, Cagliari, 81.
- FRIEDMAN, G. M. (1959): "The Samreid Lake sulphide deposit, Ontario: an example of a pyrrhotite-pyrite iron formation". *Econ. Geol.*, 54, 268.
- GABELMAN, J. W. and KRUSIEWSKI, S. V. (1972): "The metalotectonics of Europe". *XXIV International Geological Congress*, Montreal, Se. 4, 88.
- LAWRENCE, L. J. (1972): "The thermal metamorphism of a pyrite sulfide ores". *Econ. Geol.*, 67, 487.
- LAWRENCE, L. J. (1973): "Polymetamorphism of the sulfide ores of Broken Hill N. S. W., Australia". *Min. Dep.*, 8, 211.
- Mc DONALD, J. A. (1967): "Metamorphism and its effects on sulphide assemblages". *Min. Dep.*, 2, 200.
- MONTORIOL-POUS, J., CAMPÁ-VIÑETA, J. A. y ÁLVAREZ-PÉREZ, A. (1974): "Sobre el origen sedimentario-diagenético de la mineralización del yacimiento "Margalida" (Bossost, Vall d'Aran, Lérida)". *Estudios Geológicos*, tomo Homenaje al prof. Martín Vivaldi, 30, 481.
- MOOKHERGEE, A. (1970): "Dykes sulphide deposits and regional metamorphism criteria for determining their time relationship". *Min. Dep.*, 5, 120.
- NIGGLI, P. (1954): "Rocks and mineral deposits". *Freeman and Co.*, San Francisco.
- RAMBERG, H. (1952): "The origin of metamorphic and metasomatic rocks". *University Chicago Press*, Chicago.
- RAMDOHR, P. (1966): "Reflected light microscopy in the investigations of ore deposits". *Applied ore microscopy* (ed. H. FREUND), Wetzlar.
- READ, W. M. and SCHOCKLEY, W. (1952): "Dislocation models of grain boundaries imperfections in nearly perfect crystals". *John Wiley*, New York.
- SCHADLUM, T. N. (1970): "Metamorphic textures and structures of sulphide ores". *Soc. Min. Geol. Japan, IMA-IAGOD Meeting*, 3, 241.
- SCHWARTZ, G. M. (1937): "The paragenesis of pyrrhotite". *Econ. Geol.*, 32, 31.
- SUFFEL, G. G., HUTCHINSON, R. W. and RIDLER, R. H. (1971): "Metamorphism of massive sulphides at Manitouwadge, Ontario, Canada". *Soc. Min. Geol. Japan, IMA-IAGOD Meeting*, 3, 235.
- VOKES, F. M. (1968): "Regional metamorphism of the Paleozoic geosynclinal sulfide ore deposits of Norway". *Trans. Inst. Min. and Met.*, 77, B, 53.
- VOKES, F. M. (1971): "Some aspects of the regional metamorphic mobilization of preexisting sulphide deposits". *Min. Dep.*, 6, 122.
- ZWART, H. J. (1963): "Metamorphic history of the Central Pyrenees. Part. II, Valle de Aran, Scheet 4". *Leidsse Geol. Med.*, 28, 321.