

Interpretación genética de las mineralizaciones de Pb-Zn del Ordovícico superior de La Vall d'Aran (Lérida).

por Esteve CARDELLACH y Aurelio ALVAREZ-PEREZ

Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Barcelona.

ABSTRACT

The Pb-Zn ore deposits of the Vall d'Aran (Lérida), are of stratiform type. They are placed within the upper Ordovician, associated to calcareous-detritic facies. The main ore minerals are: sphalerite, pyrrhotite and galena together with 12 other secondary mineral species.

The studied area has been divided into two zones: the Bossost zone and the Unyola valley zone. The eight mineralized outcrops that have been investigated belong to the same morphological and mineralogical type of ore deposit.

From de macroscopic and microscopic study of the mineralizations it has been possible to determine that the textures and structures of the ore minerals are due to metamorphic processes which led to a recrystallization and deformation of the sulphides. In some places, however, where deformation has affected the ores to a lesser extent, sedimentary structures of sulphides have been observed.

It is considered that the mineralisations are of sedimentary origin, previous to the Hercynian metamorphism and that they are not related to the intrusion of granodiorites in the pyrenean axial zone.

RESUMEN

Las mineralizaciones de Pb-Zn del Ordovícico superior de La Vall d'Aran son de tipo estratiforme, asociadas a facies calcáreo-detriticas. La mena está constituida mayoritariamente por esfalerita, pirrotina y galena, habiéndose detectado además 12 especies minerales secundarias.

El área estudiada se ha dividido en dos zonas: Bossost y el valle del río Unyola. En total se han investigado ocho afloramientos de mineralización, formando parte todos ellos del mismo tipo, tanto morfológico como mineralógico, de yacimiento.

A partir del estudio macro y microscópico de las mineralizaciones, se ha podido determinar que éstas han sufrido un metamorfismo el cual ha dado lugar a una serie de texturas de deformación y recristalización en los minerales. En algunos puntos, sin embargo, donde las mineralizaciones se han visto menos afectadas por la deformación, se han observado estructuras sedimentarias en los sulfuros.

Por todo ello, se puede deducir que las mineralizaciones estudiadas son de origen sedimentario, anteriores al metamorfismo hercínico que las ha afectado y que no están relacionadas con el hidrotermalismo tardihercínico asociado a la intrusión de las granodioritas de la zona axial pirenaica.

INTRODUCCIÓN

A partir de los estudios realizados recientemente sobre los yacimientos de Pb-Zn de la Vall d'Aran, Lérida, se han podido obtener una serie de datos que permiten establecer las características mineralogenéticas de dichas mineralizaciones así como su posterior evolución, debida a los fenómenos orogénicos posteriores a la deposición de los minerales.

La extensión y complejidad de la zona aconsejó dividir los trabajos de investigación en dos zonas geográficamente bien

diferenciadas y que han sido estudiadas por separado, a saber: el área de Bossost y la vertiente del río Unyola. En el presente trabajo se pretende compaginar y sintetizar los resultados obtenidos por separado en una y otra región.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

La Vall d'Aran se halla situada en el extremo NW de Cataluña, distando unos 340 km de Barcelona. Su vertiente N limita con Francia. Es el cauce natural del río Garona (fig. 1).

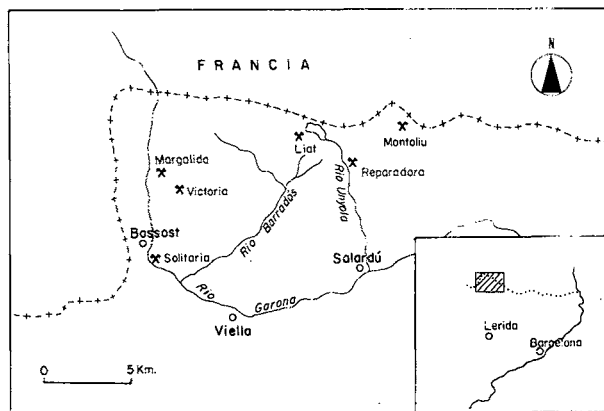


Fig.1.- Situación geográfica de las mineralizaciones de Pb-Zn de la Vall d'Aran

Las mineralizaciones estudiadas están distribuidas a lo largo de una franja de dirección aproximada E-W, de unos 30 km de longitud, en la vertiente N del Valle y se compone de los siguientes yacimientos: minas *Victoria*, *Margalida*, *Font dels Lladres*, *Sauvadera* y *Solitaria*, todas en el área de Bossost; minas de *Liat*; mina *La Reparadora* (Bagergue) y minas de *Montoliu*, en el Valle del Unyola. Actualmente las explotaciones se hallan abandonadas.

Estas mineralizaciones se hallan enclavadas dentro de los materiales cambro-ordovícicos de la zona axial pirenaica. La geología del Cambro-ordovícico pirenaico es compleja, debido tanto a la intensa deformación que han sufrido los materiales como a la falta, en muchos casos, de registro

fosilífero apto para la datación. Extensos trabajos estratigráficos y tectónicos sobre esta zona han sido llevados a cabo por Kleinsmiede (1960), Zwart (1960, 1963), Boschma (1963) y Zandvliet (1960).

La estratigrafía general del Cambro-ordovícico está constituida, de la base al techo, por la secuencia siguiente:

- pizarras oscuras muy finas, con cierta cantidad de cuarzo y localmente intercalaciones de areniscas.
- calizas marmorizadas con intercalaciones detríticas arenosas, sobre todo hacia el techo. Este tramo es muy constante a lo largo de toda la zona axial y se ha denominado «*calcaire metallifère*», por contener parte de las mineralizaciones. Su máxima potencia se desarrolla al E del lago de Liat.
- esquistos cuarcíticos con abundante materia carbonosa y vetas de cuarzo de exudación. Contienen parte de los yacimientos estudiados.
- pizarras cuarzosas que representan el tránsito al Silúrico.

Basándose en criterios de correlación, Zandvliet (1960), refiere los materiales que contienen las mineralizaciones, con mucha probabilidad al Caradociense.

Los materiales de la región aranesa se hallan afectados por la orogenia herciniana, la cual ha dado lugar a diversas fases de deformación. En el área de Bossost, Zwart (1963) establece cuatro fases distintas, mientras que en el área de Liat sólo se detectan claramente tres de ellas, con el desarrollo de dos esquistosidades, S_1 y S_2 y unas crenulaciones conjugadas que corresponden a las fases tardías.

Posteriormente a las fases dúctiles de deformación tiene lugar la intrusión de granodioritas, en relación con una fase distensiva tardía, acompañada de fracturación.

Durante las fases de deformación, las condiciones de presión-temperatura, corresponden a las de la facies de los esquistos verdes, como se deduce de las asociaciones con clorita-moscovita en las rocas pelíticas y actinolita-tremolita-epidota en las rocas calcosilicatadas. Localmente, en la zona de Bossost, se desarrolla un domo térmico relacionado con intrusiones graníticas subyacentes (Zwart 1963) que suponen condiciones de un gradiente térmico muy elevado.

La aparición de gahnita ferrífera en mina Victoria (Alvarez et al., 1974) indica a su vez, el desarrollo de una fase pegmatítica asociada al metamorfismo. Únicamente el metamorfismo regional ha afectado claramente a las mineralizaciones.

PARAGÉNESIS

Las mineralizaciones de Pb-Zn de esta zona son esencialmente estratiformes con esfalerita-galena y pirrotina como especies minerales más abundantes. La composición mineralógica es bastante uniforme en todos los yacimientos, si bien las características locales de cada uno de ellos han dado lugar a ligeras variaciones en la composición y en la abundancia relativa, de los minerales tal como queda patente en la tabla I.

CARACTERÍSTICAS DE LOS YACIMIENTOS

Tal y como se ha dicho anteriormente, los yacimientos son en general, estratiformes. Los niveles mineralizados son, paralelos a la estratificación con potencias que llegan, en algunos casos (Liat, y Montoliu principalmente) a los 0,5 m. El alto grado de deformación que han sufrido la roca encajante y la mineralización ha hecho que, actualmente, los

niveles mineralizados presenten interrupciones, acuñamientos y acumulaciones en fracturas que obliteran en mucho puntos la estructura original. El contacto de los sulfuros con el encajante es neto, sin ningún tipo de alteración.

Las características de cada una de las áreas consideradas son las siguientes:

a) *Área de Bossost*: comprende de W a E las mineralizaciones de Margalida, Victoria, Sauvadera, Font dels Lladres y Solitaria. El yacimiento de la mina Margalida se halla en una formación detrítico-cuarcítica en su parte inferior y calcárea en su parte superior. Mina Victoria se halla en el contacto entre el Cambro-ordovícico y el Silúrico, dentro de esquistos y pizarras muy deformadas, cortadas por diques de pegmatitas. Las minas Sauvadera y Font dels Lladres se hallan situadas en los núcleos de anticlinales, formados por materiales detríticos intensamente metamorfizados. Mina Solitaria se encuentra en la serie estratigráfica dentro de esquistos cuarcíticos e íntimamente relacionada con el calcáreo metalífero.

b) *Área de Liat*: comprende de W a E los yacimientos de Liat, Bagergue y Montoliu. Las mineralizaciones de Liat se hallan en dos tipos de materiales: mármoles (calcáreo metalífero) y esquistos cuarcíticos suprayacentes. Esta última formación contiene la mayor parte del mineral. En Bagergue y Montoliu, donde no aparecen los mármoles ordovícicos, los sulfuros se hallan situados exclusivamente dentro de los esquistos cuarcíticos del Ordovícico superior.

TABLA I

	1	2	3	4	5	6	7	8
Arsenopirita	-	+	-	-	+	+	++	-
Breithauptita	-	+	-	-	-	-	-	+
Calcopirita	+	+++	++	++	++	+	+	++
Cubanita	-	-	-	-	+	-	-	-
Esfalerita	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++
Freibergita	-	-	+	+	-	+	-	+
Galena	+++	++	+++	+++	+++	+++	++	+++
Gersdorffita	-	-	-	-	-	-	+	-
Loellingita	-	+	-	-	+	+	+	-
Magnetita	-	-	-	-	+	+	-	+
Mackinawita	-	-	-	-	-	+	-	+
Pirita	+++	++	-	-	+++	++	+	++
Pirrotina	+++	++	+++	-	+++	+++	+++	++
Saflorita	-	-	-	-	-	-	+	-
Siderita	+	-	-	-	-	+	-	+

1 - Margalida	5 - Solitaria	+++ muy abundante
2 - Victoria	6 - Liat	++ abundante
3 - Sauvadera	7 - Bagergue	++ poco abundante
4 - Font dels Lladres	8 - Montoliu	+ trazas
		- ausencia

TEXTURAS Y EXTRUCTURAS

Las principales texturas y estructuras que aparecen dentro de la masa mineralizada han sido agrupadas en los siguientes apartados:

1. *Sedimentarias*: En Mina Margalida se han observado figuras de gravedad, en el contacto sulfuro-caliza, formadas antes de la compactación de las calizas, lo cual provoca una difusión de los sulfuros dentro de las mismas, (Montoriol-Pous et al., 1974). También aparecen estructuras dinámicas de sedimentación propias de talud continental y formas diagenéticas con desarrollo de estilolitos, impregnados frecuentemente de mineral. Estas estructuras no han sido observadas de una forma clara en las demás mineralizaciones, probablemente por haber sido destruidas en los períodos deformativos posteriores.

2. *Deformativas y metamórficas*: las mineralizaciones están deformadas y plegadas a gran escala, junto con la roca encajante. Ello provoca la acumulación de sulfuros en las charnelas de los pliegues resultantes, debido a su acusada plasticidad y movilidad. Por otra parte, las fracturaciones tardías, que afectan a los yacimientos, principalmente mina Victoria, y Liat, dan lugar a la aparición de brechas de falla mineralizadas. Estas consisten en una masa microgranuda de sulfuros (esfalerita principalmente) mezclada con cuarzo. El mineral de estas brechas de falla proviene, sin duda, de la removilización a partir de los niveles estratiformes.

Junto con las fracturas importantes de la zona (Liat, Bossost, Unyola), aparece un sistema de diaclasas, el cual afecta también, aunque en menor grado, a las mineralizaciones. Es frecuente observar diaclasas con acumulación de sulfuros en Montoliu y Font dels Lladres. A pequeña escala, el estudio microscópico de los sulfuros pone de manifiesto la presencia de una serie de texturas y estructuras características, debidas a la deformación y al metamorfismo. Frente a la deformación mecánica, los minerales de elevada energía de formación, tales como pirita, arsenopirita y magnetita, se comportan como materiales frágiles y rígidos, y se fracturan con facilidad originando estructuras típicamente cataclásicas. Alrededor de los clastos se desarrollan sombras de presión, a las que migran los sulfuros más móviles y plásticos.

Por otro lado, los demás sulfuros, como la esfalerita, galena, pirrotina y calcopirita se comportan plásticamente frente al esfuerzo apareciendo siempre en forma de cristales maclados, con extinciones ondulantes, kinks, etc. Son frecuentes también las texturas en mosaico, como resultado de la removilización de varios sulfuros conjuntamente y reequilibrio de las energías de borde de grano en las superficies de contacto, (Cardellach, 1977).

El aumento de la temperatura, que acompaña a la deformación ha dado lugar a la recrystalización de los sulfuros originando la aparición de puntos triples con ángulos de 120° en el contacto entre granos del mismo mineral, y valores ligeramente distintos cuando coexisten cristales de distintos minerales. Ello es muy visible en las especies ópticamente anisótropas, mientras que en las demás, deben ser puestos de manifiesto por ataque químico (caso de la esfalerita y galena). A su vez, los contactos mediante bordes de reacción entre las especies minerales pueden ser debidos, en parte, a la misma causa. Otra forma típica de metamorfismo es la aparición de exsoluciones de calcopirita en esfalerita y de mackinawita en calcopirita.

3. *Reemplazamiento*: las texturas de reemplazamiento mutuo entre los distintos sulfuros de los yacimientos estudiados son muy frecuentes y permiten establecer la secuencia paragenética de la deposición mineral. La primera especie que aparece es la magnetita, la cual es reemplazada por todos los sulfuros, incluso por la siderita. A continuación se depositan el grupo de los arseniuros y sulfoarseniuros y final-

mente los sulfuros. Son típicos los reemplazamientos entre calcopirita y arsenopirita, galena y calcopirita, pirrotina y pirita, etc. En ocasiones estas estructuras están enmascaradas por posteriores recrystalizaciones y reajustes de borde de grano, lo cual hace difícil su interpretación.

4. *Alteraciones supergénicas*: se desarrollan preferentemente a lo largo de las fracturas de la roca de caja y de la masa mineralizada, dando lugar a la aparición de smithsonita y cerusita, que en pequeñas cantidades reemplaza a la esfalerita y galena respectivamente. La alteración de la pirrotina produce zonas ricas en goetita y, a escala microscópica, la aparición de estructuras en «bird-eyes» (Ramdohr, 1965), formadas por agregados concéntricos microcristalinos de pirita-marcasita. Los cristales de pirita, alterados a goetita y limonita, han sido transformados a partir de las fracturas y han quedado restos aislados inalterados formando las denominadas «islas» de pirita, rodeadas de goetita.

GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE LAS MINERALIZACIONES

A partir de todas las observaciones realizadas, podemos deducir que los yacimientos, tanto del área de Bossost como del área de Liat, son de origen sedimentario. Los datos más importantes para apoyar esta afirmación son:

– Los yacimientos presentan una posición estratigráfica bien definida: Ordovícico superior. Se extienden además a lo largo de todo el Ordovícico axial pirenaico, tanto en la vertiente española como en la francesa (Besson, 1972).

– En algunos puntos (mina Margalida) se observan estructuras dinámicas de sedimentación y formas diagenéticas mineralizadas. Probablemente en la mayoría de yacimientos estas estructuras han sido enmascaradas por la deformación y el metamorfismo.

– Las mineralizaciones se localizan dentro de una facies silíceo-carbonatada constante a lo largo de la zona axial pirenaica. Son estratiformes, con contacto neto con la roca de caja, no producen alteración en la misma, y no se observa zonación mena-ganga.

El único episodio importante de metamorfismo y deformación en condiciones profundas que han sufrido estos yacimientos es de edad hercínica ya que posteriormente, la orogenia alpina sólo se manifiesta en esta zona como fracturas, sin llevar asociado ningún fenómeno de deformación dúctil ni metamorfismo. Así pues, los fenómenos deformativos que afectan a las mineralizaciones con la consecuente aparición de recrystalizaciones, maclas, exsoluciones, etc., son de edad hercínica y la mena es, por lo tanto, anterior.

Descartamos el origen epigenético-hidrotermal de los yacimientos estudiados y su relación con el emplazamiento de las granodioritas tardihercínicas, ya que debido a la deformación y metamorfismo que presentan las mineralizaciones, éstas son incompatibles con un origen tardío, como sería el ligado a dichas rocas intrusivas.

Queda por resolver el problema importante, referente a la fuente de los metales que han dado lugar a las acumulaciones estudiadas. Reconocemos la falta de evidencias concretas y nos basamos en especulaciones posibilistas, que nos parecen correctas.

Si bien en la vertiente española no se ha observado la presencia de materiales volcánicos, éstos han sido descritos en la vertiente francesa (Raguin, 1946). En el Ordovícico

superior hubo manifestaciones volcánicas que dieron lugar a la formación de coladas de riolitas y dacitas, las cuales en algún punto llegan a formar la roca caja de mineralizaciones muy parecidas a las estudiadas por nosotros (Besson, 1972). Consideramos, pues, la posibilidad de que los fenómenos exhalativos que acompañan al volcanismo puedan haber aportado los metales correspondientes.

Una vez depositados los sulfuros, éstos han sido deformados y metamorizados junto con la roca de caja, desarrollando las estructuras y texturas descritas con anterioridad. En las fases tardías tuvo lugar una distensión de la zona con la formación de grandes fracturas, con aparición de brechas de falla mineralizadas. Al mismo tiempo, y en algún punto (mina Victoria), se desarrolla una fase pegmatítica tardía, con aparición de gahnita ferrífera (Alvarez et al., 1974) y un hidrotermalismo atenuado.

En una última fase tiene lugar la alteración supergénica de la masa mineralizada.

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 IX*, n.º 3, pág. 11-113. Barcelona.
- BESSON, M. (1972): Le gisement de plomb et de zinc de Pierrefite. *XXIV International Geological Congress*, Sec. 4, págs. 335-338. Montreal.
- BOSCHMA, D. (1963): Successive Hercynian structures in some areas of the Central Pyrenees. *Leids Geol. Med.*, 28, págs. 105-176. Leiden.
- CARDELLACH, E. (1977): Estudio de los sulfuros metálicos procedentes del valle del río Unyola, Vall d'Aran (Lleida). *Tesis doctoral*. Universidad de Barcelona.
- KLEINSMIEDE, W. F. I. (1960): Geology of the Valle de Aran, Central Pyrenees. *Leids Geol. Med.* 25, págs. 131-240. Leiden.
- MONTORIOL-POUS, J., CAMPÁ-VIÑETA, J. A. y ALVAREZ-PÉREZ, A. (1974): Sobre el origen sedimentario-diagenético de la mineralización Margalida (Bossost, Vall d'Aran). *Estudios Geológicos*, XXX, págs. 481-484. Madrid.
- RAGUIN, F. (1946): Découverte des roches eruptives ordoviciennes dans les Pyrénées centrales. *C. R. Acad. des Sciences*, vol. 223, pp. 816-817. Paris.
- RAMDOHR, P. (1965): The ore minerals and their intergrowth. 1174 pág. *Pergamon Press*. London.
- ZANDVLIET, J. (1960): The geology of the upper Salat and Pallaresa Valleys central Pyrenees, France/Spain. *Leids Geol. Med.*, 25, pág. 1-127. Leiden.
- ZWART, H. J. (1960): Relations between folding and metamorphism in the Central Pyrenees and their chronological succession. *Geol. Mijnb.*, vol. 39, pág. 163.
- ZWART, H. J. (1963): Metamorphic history of the Central Pyrénées. Part. II. Valle de Aran. Sheet, 4. *Leids Geol. Med.* 28, pág. 321-376.

Recibido, junio 1978.