

Geología de las mineralizaciones de sulfuros masivos en los cloritoesquistos de Moeche (complejo de Cabo Ortegal, A Coruña)

R. Castroviejo⁽¹⁾, E. Armstrong⁽²⁾, A. Lago⁽¹⁾, J.M. Martínez Simón⁽³⁾ y A. Argüelles⁽¹⁾

(1) ETS Ing. Minas, C/. Ríos Rosas 21. 28003 Madrid.
E-mail: ricardoc@minas.upm.es

(2) Avda. de Mahía, 40, 3º C. 15220 Bertamirans, Ames (A Coruña).
E-mail: eduarmstrong@latinmail.com

(3) ETS Ing. Caminos, Canales y Puertos. Ciudad Universitaria. 28003 Madrid.

Al Prof. Tirso Febrel, *in memoriam*

RESUMEN

En la Unidad de Moeche existen concentraciones sulfuradas cupríferas, poco documentadas y poco accesibles actualmente, que han sido explotadas por Cu hasta los años 1960. Se trata de menas metamórficas (metamorfizadas, pero no metamorfogénicas, según las evidencias observadas), diseminadas (en cloritoesquistos cuarzo-piríticos) o estratiformes (en niveles decimétricos a métricos). Las mineralizaciones están fuertemente laminadas y deformadas por la orogenia hercínica; su génesis es pre-tectónica, aunque las frecuentes movilizaciones parciales por *transferencia en disolución*, ligada a fenómenos de presión-disolución prácticamente ubicuos, enmascaran en parte los rasgos primarios. En cualquier caso, los cuerpos mineralizados muestran habitualmente una estructura concordante con la del encajante, si bien el conjunto está invertido en Mina Piquitos II, y fallado y muy deformada en Mina Barqueira. El encajante corresponde, esencialmente, a una serie meta-volcánica submarina (metabasitas representadas por cloritoesquistos, como tipo más frecuente), interpretada según las ideas actuales como el techo de una serie ofiolítica, con una fuerte impronta de metamorfismo dinámico y una mineralogía epizonal definida por proporciones variables de clorita, albita, actinolita (hornblenda), epidota/clinozoisita, esfena, anatasa, cuarzo, pirita y, en el entorno de Mina Maruxa, estilpnomelana y magnetita. La mineralogía de las menas diseminadas y de los niveles masivos es análoga y, en general, simple: pirita y calcopirita, con cantidades subordinadas a trazas de esfalerita, pirrotita, galena, magnetita, hematites, linneita, marcasita, oro nativo, etc. La Petrografía de IF (Inclusiones Fluídas) muestra que, debido a la fuerte impronta de metamorfismo dinámico, no se han preservado IF primarias (pre-metamórficas) medibles, sino sólo secundarias, sin-metamórficas, generalmente minúsculas y alojadas en microfisuras de tensión sobre microclastos y lenticulas de cuarzo, o bien aisladas en cristales de cuarzo metamórfico. Los fluidos dominantes en estas IF son acuosos y densos ($F \sim 0,8$), L_w , de salinidad moderada ($\sim 8\%$ en peso NaCl equiv); no se ha constatado la presencia de CO_2 y las temperaturas de homogeneización total oscilan entre 200 y 225°C. Estos fluidos caracterizan el metamorfismo dinámico, en condiciones epizonales (P_i y $T \sim 2/2,5$ kb y 325/350°C, estimación preliminar). La información geoquímica obtenida, tanto por contenidos metálicos como por los valores isotópicos $\delta^{34}S$ ($-0,6$ a $+4,5\%$, media $+2,5\%$), establece una clara afinidad con las concentraciones exhalativas o volcano-sedimentarias de sulfuros masivos (VMS), del tipo Cu-Zn de Lydon, análogas a las de Chipre (relacionadas con series ofiolíticas), lo que concuerda con la geología y mineralogía observadas, a pesar de la ubicua impronta metamórfica.

Palabras clave: Cabo Ortegal (Coruña), colisión hercínica, Moeche, ofiolitas, sulfuros masivos (tipo Chipre)

Geology of the VMS mineralizations in the variscan chlorite-schists of Moeche (Cabo Ortegal complex, NW Spain)

ABSTRACT

Several mines extracted copper until the 1960's from disseminated ores and thin massive sulphide layers in the Moeche Unit, a strongly deformed meta-volcanic sequence comprising mainly quartz-chlorite schists and mylonites, which defines the top of an ophiolitic sequence emplaced on the Iberian margin in Devonian times, as a result of the Variscan collision. The ores are metamorphosed and strongly deformed under brittle conditions (for pyrite), but their textures are often apparently post-deformational, due to very common solution-transfer processes; they are composed mostly of pyrite and chalcopyrite, with subordinate to trace amounts of sphalerite, pyrrhotite, galena, magnetite, hematite, marcasite, linneite, native gold, etc. The geology, mineralogy, and geochemistry (including $\delta^{34}S$ values of sulphides from $-0,6$ to $+4,5\%$, mean $+2,5\%$) of the orebodies relate closely to VMS of the Cu-Zn (Cyprus) type, although their complex post-mineralization history and the very strong dynamic metamorphic overprint due to variscan collisional tectonics may obscure some

of the typical features: the stratigraphy is overturned in the Piquitos mine, and nearly vertical and strongly deformed in the Barqueira mine; the stockwork is sheared and faulted; contact metamorphism is still superimposed in Maruxa mine, etc. Fluid inclusion studies on the metamorphic fluids trapped in micro-fissures in quartz allow an insight into the epizonal metamorphic conditions ($P_r \sim 2/2,5$ kb and $T \sim 325/350^\circ\text{C}$, preliminary estimates), in which dense ($F \sim 0,8$), aqueous fluids with moderate salinities (~ 8 wt% NaCl_{eq}) have been involved, and produced continuous pressure-solution mobilization of the ores, but only over very short distances.

Key words: Cabo Ortegal (NW Spain), Cyprus-type VMS deposits, Moeche, ophiolite, variscan collision

Introducción

Este trabajo trata de esclarecer la geología de las mineralizaciones de Moeche y de su entorno, como primer paso para la comprensión de su génesis. El trabajo de campo, la cartografía detallada de labores mineras y los estudios petrográficos y mineralógicos ofrecen criterios insustituibles y, aunque se investigan todavía algunos aspectos que deberán aportar precisiones, pueden adelantarse ya algunas conclusiones fundamentales.

La geología de la zona ha sido documentada por el IGME (1971, 1976, 1977, 1982), con una cartografía fundamental, pero sin llegar a resolver los complejos problemas planteados. Existen antecedentes en diversos trabajos sobre la región gallega (Vogel, 1967; Engels, 1972; van der Meer Mohr, 1975; van Overmeeren, 1975; van Calsteren, 1977, van Calsteren *et al.*, 1979; den Tex, 1981, entre otros). Posteriores aportaciones supusieron avances decisivos en la interpretación de los terrenos considerados; aunque son muy numerosas, entre ellas deben mencionarse al menos, por su relación con los problemas estudiados, las de Arenas (1983, 1988, 1991), Arenas *et al.* (1986, 1995, 1997), Gil Iburguchi y Arenas (1990), Martínez Catalán *et al.* (1996, 1997, 1999), Dallmeyer *et al.* (1997), Abati *et al.* (1999), Díaz *et al.* (1999 a y b), así como las que acaban de ser presentadas en la reciente conferencia internacional *Galicia 2000* (Variscan-Appalachian Dynamics, 2000).

Por lo que respecta a las mineralizaciones sulfuradas de Cu (Zn, Au), explotadas por sucesivas compañías hasta mediados de los años 60, es muy poco lo publicado hasta ahora. Los datos más precisos son los que recoge la Memoria del Mapa Minero-Metalogénico de Galicia (IGME, 1982), que se sintetizan en la tabla 1. Se menciona además en dicha memoria el Grupo Covadonga (identificado con el nº 31 y supuestamente análogo a los anteriores), que no ha podido localizarse con ese nombre, aunque es muy probable se corresponda con el indicio de Ponte Barbelas de este estudio, que se encuentra en la misma ubicación, pero en el que no se han constatado labores importantes de extracción. Desde el punto

de vista de la exploración minera, se tienen noticias de campañas realizadas por el IGME (1955), por CEMINSA (1973), por CGS (1976) y por PHELPS DODGE ESPAÑOLA (1979), a las que no se ha tenido acceso, pero que despertaron suficiente interés como para justificar la campaña de ENADIMSA (1984) para el Programa Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales (PNAMPM), sobre la hipótesis inicial de un potencial yacimiento de entre 2 y 5 millones de toneladas, con leyes de 2% a 3% Cu. Los trabajos realizados no permitieron confirmar esta hipótesis y la investigación fue abandonada.

Marco geológico regional

El área estudiada forma parte del complejo ultramáfico de Cabo Ortegal, hacia la extremidad occidental del orógeno hercínico europeo. Las ideas dominantes en los trabajos de la Escuela de Leiden -primer grupo de autores citados- proponen para los macizos ultramáficos un emplazamiento por ascenso vertical, relacionado con materiales mantélicos ascendentes (domo mantélico o *mantle plume*). Sin embargo, los trabajos posteriores proponen un emplazamiento por obducción, ligada a la colisión continental hercínica, hipótesis ampliamente aceptada hoy y única que ofrece un marco compatible con las observaciones realizadas en este trabajo.

Las consecuencias de una u otra hipótesis serían radicalmente diferentes para la interpretación geológica de las formaciones objeto del presente trabajo. En efecto, en el primer caso, éstas serían únicamente el encajante pasivo o la zona marginal de la extrusión mantélica; en el segundo, serían materiales de fondo oceánico emplazados tectónicamente sobre la corteza continental de Gondwana y representarían la sutura con Laurentia (previa acreción de Avalonia), para originar el supercontinente Pangea. En todo caso, estas formaciones se ubican en una zona singular: en el límite entre la zona Centro-Ibérica y la zona de Galicia-Tras-os-Montes, en la que se reconocen, en general, acusados rasgos de aloctonía.

En la zona de estudio se constatan marcados con-

Nº DEL INDICIO	NOMBRE	COORDENADAS LAMBERT		MINERALOGÍA		ESTRATIGR.	GANGA	ELEMENTO QUÍMICO	MORFOLOGÍA
		X	Y	MINERALES PRINCIPALES	MINERALES SECUNDARIOS				
30	Piquito 1 y 2 y Santa Marta	254,2	1003,1	Pirita, Pirrotina, Calcopirita	Hematites, blenda, oro (magnetita, galena)	S ₃	Ortoanfibilotas, esquistos	Cu, Fe, Zn, Pb, Au	Estratiforme
31	Grupo Covadonga o La Porca	295,0	1007,2	Pirita, Pirrotina, Calcopirita	Hematites, blenda	S ₃	Ortoanfibilotas, esquistos	Cu, Fe, Zn	Estratiforme N30°E
32	Grupo Maruxa	257,0	1007,0	Pirita, Calcopirita	Linneita, Blenda, galena	S ₃	Ortoanfibilotas, esquistos	Cu, Fe, Zn, Pb, Co	Estratiforme N60°E
33	Grupo Dos Carris o La Barquera	256,0	1008,8	Pirita, Pirrotina, Calcopirita	Hematites, Blenda, Oro	S ₃	Ortoanfibilotas, esquistos	Cu, Fe, Zn, Au	Estratiforme N30°E

Tabla 1. Indicios mineros del área de Moeche (IGME, 1982)

Table 1. Data on mining prospects in the Moeche area (IGME, 1982)

trastes petrológicos, evidenciados no sólo por la composición de los materiales (de meta-ultramafitas a meta-sedimentos), sino también, entre otras cosas, por las fuertes diferencias en el grado metamórfico entre los terrenos silúricos de bajo grado (Zona Centro-Ibérica), al Este, y las formaciones meso- y epi- a catazonales -a veces retrogradadas- al Oeste (Zona Galicia-Tras-os Montes). Ante la complejidad de los problemas planteados, el grado metamórfico va a constituir un criterio importante de Cartografía e interpretación.

La información acerca de dataciones absolutas ha sido sintetizada recientemente por Martínez Catalán *et al.* (1999). La foliación de las anfibilotas, en las unidades de grado medio metamórfico, está datada en torno a los 390-380 Ma (Devónico Inferior), edad cercana a la de los gabros supuestamente relacionados todavía con la generación de corteza oceánica, 395 Ma (Dallmeyer & Gil Iburguchi, 1990 y Dallmeyer *et al.*, 1991; Dunning *et al.*, 1997, respectivamente, *in*: Martínez Catalán *et al.*, 1999). Teniendo en cuenta que dicha foliación sería coetánea de la obducción y, por tanto, del cierre del océano pre-existente, parece probable que los segmentos oceánicos obducidos en Galicia Occidental estarían entre los más jóvenes del océano Rheico. En los esquistos de la Unidad de Moeche, objeto de este trabajo, Dallmeyer *et al.* (1997) datan un episodio metamórfico -el segundo, según ellos- más reciente (364 Ma., Devónico Superior), de grado epizonal y ligado a los cabalgamientos de la 2ª fase de deformación hercínica. Esta edad es similar a la obtenida para otras unidades de la región con el mismo significado geo-tectónico (ofiolitas), según dichos autores.

Geología del sector Espasante-Moeche

El área estudiada ocupa unos 200 km² al NE de la provincia de A Coruña, entre Moeche y Espasante (al NE de Ferrol y al SSE del Cabo Ortegal: fig. 1). El recubrimiento cuaternario y vegetal es muy extenso (lámina 1.1), lo que implica unas condiciones de afloramiento en general difíciles, acentuadas por la intensa meteorización.

En la zona afloran mayoritariamente rocas del Grupo Moeche (IGME, 1976), el cual reposa en concordancia sobre rocas del Silúrico Superior que afloran al E y S de la zona y es cabalgado al N y O por la Unidad Superior del Complejo de Cabo Ortegal. Dicho Grupo, definido como una serie volcanogénica con aportes sedimentarios, está constituido mayoritariamente por "materiales heterogéneos" con profusión de elementos volcánicos, mientras que en general los materiales silúricos forman una serie monótona de origen sedimentario, predominantemente samítico, y el Complejo de Cabo Ortegal está constituido por rocas metamórficas meso- y catazonales, predominantemente máficas y ultramáficas. Según Arenas (1983, 1988), el Grupo Moeche representa una unidad alóctona cabalgante sobre el Silúrico durante el proceso de obducción de las series ofiolíticas.

Para el presente trabajo¹ se han tenido en cuenta

¹ Apoyado por cartografía de superficie y de labores mineras, sondeos, campañas geofísicas/geoquímicas de exploración, análisis químicos de roca total e isotópicos y estudio de 309 láminas transparentes, 60 probetas pulidas, 34 láminas transparentes pulidas y 4 láminas doblemente pulidas, en parte realizados para el proyecto ENADIMSA (1984).

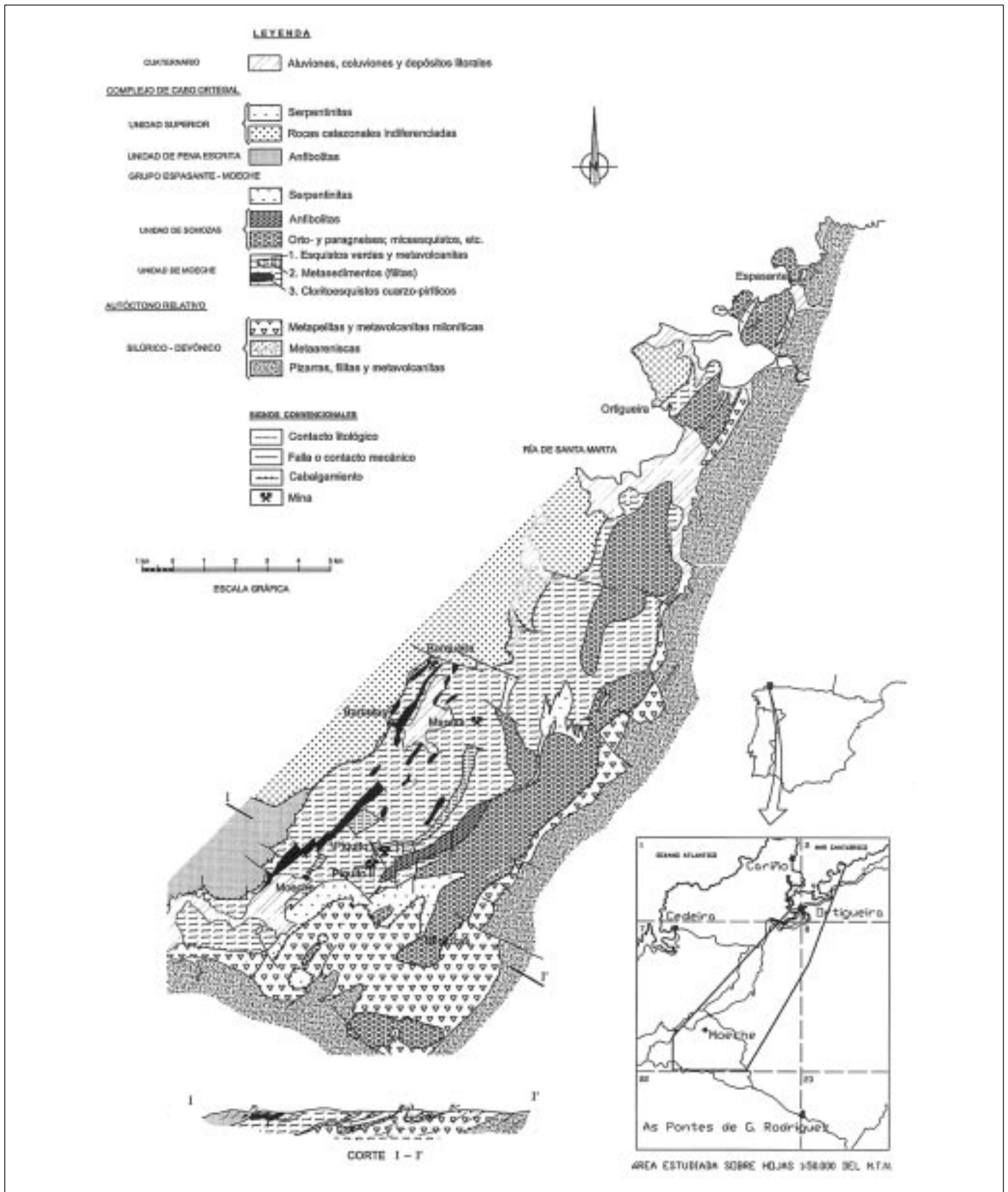


Fig. 1. Mapa Geológico del área Espasante-Moeche. Provincia de A Coruña
 Fig. 1. Geological map of the Espasante-Moeche area (Coruña Province)

particularmente criterios de grado metamórfico y estructurales, aparte de la naturaleza y petrografía de los materiales. Estos criterios permiten definir las siguientes unidades en la zona (cf. fig. 1):

Complejo de Cabo Ortegal

- Unidad Superior: *rocas catazonales (que pueden estar serpentinizadas), cabalgantes sobre las demás (Arenas, 1983, 1988). Por no tener relación con el objeto de la investigación, no se han estudiado aquí con detalle.*
- Unidad de Pena Escrita: *Anfibolitas masivas, a muro (tectónico) de la Unidad Superior y cabalgantes, a su vez, sobre el Grupo Espasante-Moeche.*
- Grupo Espasante-Moeche, *que comprende las siguientes unidades:*
 - Unidad de Moeche, *constituída por cloritoesquistos -generalmente metavolcanitas básicas intensamente deformadas-, con intercalaciones de cloritoesquistos piríticos, a los que suelen estar espacialmente asociadas las mineralizaciones, y rocas metasedimentarias (metalutitas, filitas y filonitas). Cabalgante sobre los metasedimentos silúrico-devónicos.*
 - Unidad de Somozas: *conjunto heterogéneo de rocas meso-catazonales cabalgantes sobre el Silúrico, caracterizándose, tanto frente a éste como frente a la Unidad de Moeche, por su mayor grado metamórfico, aunque a veces muestra retrometamorfismo.*
 - *Serpentinitas*, muy deformadas generalmente; no siempre es posible adjudicarlas con certeza a una u otra de las unidades precedentes. Ocasionalmente pueden incorporar lentejones carbonatados marmorizados.

Autóctono Relativo

- Silúrico-Devónico: *dominado por una sucesión metasedimentaria relativamente monótona (pizarras, filitas), con intercalaciones locales de metavolcanitas y algunos niveles cartografiables de meta-areniscas; se encuentra a muro (tectónico) del Grupo Espasante-Moeche, del que está separado por una zona de pronunciado metamorfismo dinámico (metapelitas y metavolcanitas miloníticas).*

Correlaciones tectonoestratigráficas

Como referencia, se ha tratado de establecer una

correlación tentativa entre estas unidades y el marco general tectono-estratigráfico propuesto (Arenas et al., 2000: Guide to Pre-Conference Field Trip, in: *Variscan-Appalachian Dynamics, 2000*) para el conjunto de los complejos máficos-ultramáficos de Galicia Occidental, resultando (de base a techo, según la posición que los autores estiman más común en el apilamiento tectónico y prescindiendo del basamento o Autóctono Relativo):

<u>Marco General (Arenas et al., 2000)</u>	<u>Unidades consideradas en este trabajo</u>
Unidades Basales	Unidad de Somozas
Unidades Ofiolíticas	U. Moeche, Serpentinitas y U. P. Escrita
Unidades de Alta Temp. y Alta Presión	Unidad Superior (Complejo Cabo Ortegal)
Unidades de Presión Intermedia	-

Para los objetivos de este trabajo resulta aconsejable mantener la diferenciación entre las unidades de Moeche, Pena Escrita y Serpentinitas del Grupo Espasante-Moeche, ya que aun en la hipótesis de que todas puedan considerarse integrantes de unidades ofiolíticas (diferenciables, no obstante, por el grado metamórfico y otros criterios), sólo la primera tiene importancia como metalotecto para las concentraciones investigadas. La Unidad de Moeche, en el sentido en que se ha definido en este trabajo, tampoco equivale al Grupo Moeche del MAGNA (Hoja 7: Cedeira, IGME, 1976), que lo incluía en el Silúrico Superior; asimismo, se le da un sentido más restringido que el utilizado anteriormente (Arenas, 1988), al segregar las litologías meso y catazonales de este autor (Unidad de Somozas, en el presente trabajo).

Por otra parte, resulta todavía cuestionable la interpretación tectonoestratigráfica de la Unidad de Somozas, que algunos autores consideran como un *mélange* tectónico, interpretación plausible si se tiene en cuenta su heterogeneidad petrológica y metamórfica. Dicha Unidad, insuficientemente investigada, no ha sido objeto de atención prioritaria en este trabajo, por no tener ninguna relación visible con los metalotectos estudiados, es decir, con los objetivos de la actual investigación.

Tectónica

La estructura del conjunto, aunque puede ser muy compleja localmente, está dominada por una esquistosidad que buza suavemente al NO. En realidad se trata de una esquistosidad desarrollada en el Devónico Superior durante el metamorfismo dinámico epizonal y ligada a los cabalgamientos (S₂, tradicional Fase 2 hercínica), suficientemente bien desarrollada como para obliterar frecuentemente

estructuras anteriores o producir una transposición de las superficies de estratificación, que tienden a adaptarse a S_2 .

Se han proyectado en falsilla de Schmidt los polos de esquistosidades medidas en niveles meta-pelíticos del Silúrico (Figura 2 a) y en la Unidad de Moeche en la zona de más indicios (Figura 2 b). En la serie Silúrica, en donde únicamente ha actuado la orogenia Hercínica, se observa un máximo bien centrado con orientación N 35°E 40°NO (los estereogramas correspondientes a las zonas milonitizada y no milonitizada señaladas en la fig. 1 son similares, lo que sugiere que la milonitización es un efecto local debido a esfuerzos homoaxiales con los que producen la esquistosidad principal). En la Unidad de Moeche el diagrama es análogo, presentando un máximo en N 28°E 38°NO. La similitud estructural entre ambas unidades sugiere historias de deformación análogas y, en ambos casos, esencialmente determinadas por los cabalgamientos hercínicos (Fase 2) o que, en todo caso, si hubo deformaciones anteriores en la Unidad de Moeche, han sido obliteradas o transpuestas por los citados episodios de deformación.

Los cabalgamientos tienen una vergencia E (o ESE), aunque los planos de cabalgamiento, al igual que la esquistosidad S_2 , pueden estar plegados e incluso verticalizados por episodios posteriores de deformación -convencionalmente designados como la Fase 3 hercínica-, como ocurre en los contactos meridionales del Grupo Espasante-Moeche con el Autóctono Relativo (fig. 1, Corte I-I'). Esto se observa también en la mina d'A Barqueira, mientras que en la mina Piquito II la estructura, aparentemente simple, está totalmente invertida (figs. 3 a 6).

En líneas generales, esta estructura se explica por la situación del sector estudiado en el margen oriental del Complejo de Cabo Ortegal, cabalgante sobre el Autóctono Relativo (Martínez Catalán *et al.*, *op. cit.*).

Unidades Cartografiadas

El estudio geológico se centra en los potenciales metalotectos para las concentraciones estudiadas, es decir, esencialmente en la Unidad de Moeche y, particularmente, en las labores mineras, tratando las restantes unidades de forma muy sucinta. A continuación se exponen los rasgos principales que definen las unidades cartografiadas.

Unidad Superior

Ocupa el borde noroccidental de la zona y representa

el asomo oriental de las litologías de más alto grado metamórfico del Complejo de Cabo Ortegal, que tienen un extenso desarrollo hacia el NO. De una manera general esta Unidad agrupa una serie de rocas metamórficas orto y paraderivadas, cuya principal característica está definida por su grado de metamorfismo meso y catazonal. Se trata de anfibolitas, gneises, micaesquistos, serpentinitas, granulitas, eclogitas, etc. No se han diferenciado cartográficamente estas litologías por no estar relacionadas con las mineralizaciones objeto de este trabajo.

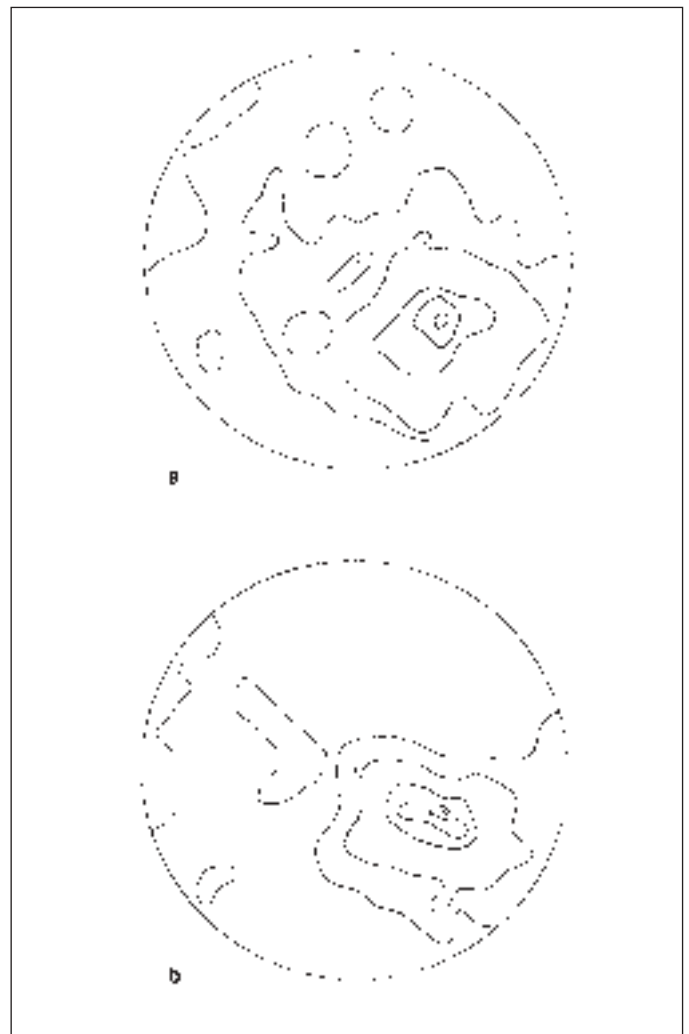


Fig. 2. Orientación de la esquistosidad en el Autóctono Relativo y en la Unidad de Moeche. Proyección estereográfica de polos en falsilla de Schmidt: (a) litologías silúricas (338 medidas, contornos de 1,5%, 5,9%, 8,9% y 11,8 %; máximo: N 35°E, 40°NO); (b) Unidad de Moeche (205 medidas; 2,4%, 9,8%, 14,6%, 17%; máximo: N 28°E, 38°NO)

Fig. 2. Orientation of schistosity -stereographic projection of poles in equal area net- in silurian lithologies (a: 338 measures; 1,5%, 5,9%, 8,9% y 11,8% contours) and in the allochthonous Moeche Unit (b: 205 measures; 2,4%, 9,8%, 14,6%, 17% contours)

La Unidad Superior (meso-catazonal) se relaciona con la Unidad de Moeche (epizonal) mediante un plano de cabalgamiento, asociado al cual es frecuente la presencia de serpentinitas y talcoesquistos. En la mitad Sur, dicho plano de cabalgamiento está bastante tendido, próximo a la horizontal. Por el contrario, hacia el Norte de la falla de A Barqueira, se verticaliza considerablemente.

Unidad de Pena Escrita

Equivale a la Unidad de Purrido de otros autores. En el área estudiada aflora al SO de la Unidad anterior, que la cabalga. Por el borde Este y Sur y bajo otro contacto cabalgante, aflora la Unidad de Moeche, formada por rocas metabásicas epizonales. Generalmente las Anfibolitas de Pena Escrita se presentan muy meteorizadas y las mejores observaciones se han realizado en las canteras para áridos que son relativamente abundantes en la zona. Macroscópicamente, su característica principal es la homogeneidad litológica.

La litología dominante es una anfibolita de grano fino a muy fino, en ocasiones afanítica y de aspecto masivo, pero que en general presenta una foliación metamórfica claramente definida que da a la roca un aspecto más o menos tableado, con una separación en bancos centimétricos a decimétricos. También presenta texturas bandeadas, con niveles más o menos ricos en feldespatos, granates y cuarzo. Este bandeo puede ser milimétrico hasta decimétrico. Se observa granate accesorio y sulfuros menos frecuentes.

Se distinguen cinco tipos litológicos: 1) pirigarnítico, de grano fino, inequigranular con textura blastomilonítica, foliación neta y fino bandeo mineralógico; 2) anfibolitas comunes foliadas, más equigranulares, de grano fino a medio, con la misma hornblenda verde-oliva de las pirigarnitas y plagioclasa cálcica; 3) anfibolitas cuarzo-epidóticas, con anfíbol verde-azulado tipo actinolítico y plagioclasa más alcalina (tipo oligoclasa-albita); 4) metabasitas miloníticas, con porfidoclastos de anfíbol tipo uralita o actinolita y plagioclasa aparentemente automorfa, rodeados por una matriz granoblástica de plagioclasa y minerales del grupo de la epidota; 5) granatitas con sulfuros: alternancias de granate y epidota, con textura granoblástica de grano fino a medio, bandeada. Se observan evidencias de retrogradación, a partir de facies granulíticas.

En esta unidad se encuentran mineralizaciones peculiares (Castroviejo, 1988), diferentes de las que constituyen el objeto de esta investigación. Se trata

de impregnaciones, que aparecen diseminadas o rellenando fisurillas y que pueden constituir hasta el 5% de la roca. Comprenden fases sulfuradas y oxidadas, que han sido investigadas por microscopía óptica y electrónica. Consisten, las primeras, en pirrotita, calcopirita, pentlandita, mackinawita, valleriita, pirita, marcasita y el llamado *producto intermedio* (en terminología de Ramdohr, 1980) de la alteración de pirrotita (habitualmente una mezcla submicroscópica de pirita, marcasita y magnetita). Entre las segundas, destacan las espinelas, magnetita y cromita/picotita, ilmenita, hematites, rutilo, esfena, anatasa/leucoxeno y circón. Es de notar la existencia de dos generaciones bien diferenciadas de magnetita: la primera, ortomagmática, puede estar enriquecida en V y en Cr/Mn y llega a ser transicional a picotita; la segunda, asociada a los sulfuros y a la descomposición de pirrotina, es puramente ferrífera y tardía: suele sellar microcizallas o fisurillas, o incluso insinuarse como películas intergranulares entre los silicatos (por ejemplo, diópsido), acompañada de sulfuros (pentlandita, pirrotina o producto intermedio...). Se trata, probablemente, del equivalente metamórfico de las manifestaciones ortomagmáticas de sulfuros y óxidos, Cu/Ni-Fe(Cr), típicamente asociadas al magmatismo básico.

Unidad de Moeche

Esta Unidad ocupa aproximadamente el centro de la zona estudiada y subyace a las Unidades Superior y de Pena Escrita, cabalgantes. Al Este, sus contactos con la Unidad de Somozas y con el Autóctono relativo son también mecánicos. Comprende un conjunto de rocas básicas (dominantes), ácidas e intermedias, con intercalaciones sedimentarias, cuya característica común es el grado de metamorfismo epizonal. Su aspecto macroscópico es de esquistos verdes con textura bandeada, pero las diferentes litologías se presentan intercaladas y entre ellas existen gradaciones. Se han diferenciado cartográficamente la banda de cloritoesquistos cuarzo-piríticos que va del Norte de Moeche hasta A Barqueira y algunas otras de menor desarrollo, así como la banda con metasedimentos entre las Minas Piquitos y Maruxa y otras menores; como se verá, el primero de estos tipos es un metalotecto importante.

En toda la Unidad de Moeche, relacionadas con zonas de contactos mecánicos -tanto en los contactos con las unidades limítrofes como en los frecuentes cabalgamientos internos-, aparecen una serie de rocas ultramiloníticas en las que es difícil establecer la naturaleza del protolito, ya que sus texturas origi-

nales han sido borradas. Aunque no están individualizadas cartográficamente, su frecuencia ha conducido a considerar el conjunto de la Unidad de Moeche como una lámina ultramilonítica, retrogradada (Arenas, 1983, 1988) o bien como esquistos verdes miloníticos (Sánchez Martínez *et al.*, 2003). Existen, además, afloramientos de serpentinitas, que se tratan aparte.

Para el objeto del presente trabajo, es pertinente diferenciar tres tipos litológicos, tal como se expresa en la leyenda del Mapa Geológico: 1) esquistos verdes y metavolcanitas; 2) metasedimentos filíticos; 3) clorito-esquistos cuarzo-piríticos.

Esquistos verdes y metavolcanitas

Constituyen el grupo más extenso y característico de la Unidad, dentro del cual aparecen, como intercalaciones o bandas, los otros dos. También es el más variado. Comprende litologías generalmente ortodérmicas y de composición básica, metamorfizadas en grado esquistos verdes, cuyos protolitos no siempre pueden establecerse con certeza, aunque dominan basaltos espilitizados. Son frecuentes las paragénesis espiliticas, generalmente afectadas por intensa deformación: clorita, albita, epidota, actinolita, cuarzo, esfena, anatasa/leucóxeno, como minerales más frecuentes; pueden aparecer también carbonatos, hornblenda, filosilicatos (biotita, sericita) y otros accesorios. Existen, en el acantilado de la Playa de Espasante, intercalaciones de una espectacular secuencia de fondo oceánico, con manifestaciones de lavas almohadilladas y brechas, metaandesitas basálticas y diques metabasálticos (Arenas, 1988). Esta secuencia está intensamente deformada, atravesada por bandas de cizalla miloníticas e intercalada con otras litologías metamórficas (anfíbolitas, esquistos verdes, ortoneises y metasedimentos), pero su origen puede reconocerse todavía con claridad.

Las texturas, a las que la abundancia y la orientación de la clorita suelen imprimir su carácter esencial, son en general lepidoblásticas (a veces grano- o nematoblásticas) a filoníticas, miloníticas o ultramiloníticas, con frecuencia microbandeadas, con porfido-clastos de plagioclasa, anfíbol y epidota, ocasionalmente también de sulfuros o cuarzo policristalino (hidrotermal, en las zonas mineralizadas). En general, la deformación de tipo dúctil, ligada a los cabalgamientos, impone su impronta y define la esquistosidad dominante S_2 . La clorita puede estar recristalizada y a veces es blastomilonítica.

Es frecuente en algunas zonas la actinolita neoforzada en la matriz, que puede coexistir con porfido-

clastos de anfíbol (hornblenda, actinolita) pre-existent. La plagioclasa (albita) es frecuente también en la matriz, ya sea en forma de microlitos probablemente relictos de metamorfismo de fondo oceánico (espiliticos), ya en microclastos en los tipos más deformados; pero también se constata un desarrollo sin-metamórfico de fenoblastos de albita, afectados o no por la deformación milonítica (Lám. 2.1). La epidota/clinozoisita puede aparecer en finas bandas casi monominerálicas (epidositas), pero más frecuentemente se encuentra diseminada, como pórfido- o micro-clastos. Esta paragénesis puede atribuirse a metamorfismo epizonal (dinámico) de una serie de fondo oceánico previamente afectada por metamorfismo hidrotermal. Se requieren datos más precisos (entre otros, composiciones micropuntuales de anfíboles y cloritas) para el esclarecimiento total de la evolución P-T-t y de la historia hidrotermal del conjunto -investigación en curso-, aunque la microtermometría de inclusiones fluidas aporta ya informaciones preliminares de interés.

Metasedimentos filíticos

Comprenden filitas cuarzosas, feldespáticas, grafitosas y metaconglomerados. Mica blanca y cuarzo son componentes fundamentales, acompañados de cantidades variables de albita, clorita, grafito y, como accesorios, biotita, turmalina, circón, apatito y minerales oxidados de Ti-Fe (esfena, leucóxeno, opacos...). La textura típica es granolepidoblástica fina, con micro-bandas alternantes de mica y cuarzo, pero no es raro que por efectos de la deformación derive a tipos filoníticos y similares, frecuentes en el entorno de la Mina Piquito II. Los metaconglomerados contienen grandes fragmentos líticos, de procedencia variada: lavas, areniscas, filitas cloríticas o sericíticas (metacineríticas?), gneises.

Cloritoesquistos cuarzo-piríticos

Constituyen el tipo más directamente relacionado con las mineralizaciones sulfuradas objeto de estudio, según se constata en las minas Piquitos y Barqueira y en el indicio de Ponte Barbelas. Sin embargo, su relación con las litologías más comunes, del tipo designado como esquistos verdes y metabasitas, parece transicional, por lo que hay motivos para pensar en una evolución gradual, que en ciertas condiciones alcanzaría su diferenciación más extrema en este tipo cuarzo-pirítico. Por ser el encajante normal de las mineralizaciones aflorantes (Piquitos, Barqueira, Ponte Barbelas), se describirá con éstas.

Unidad de Somozas

Ocupa una faja discontinua, de NNE a SSO, en el borde oriental del Grupo Moeche-Espasante, además de formar un *klippe*, relicto del desmantelamiento erosivo de la Unidad, al Sur de dicha faja. Sus contactos son siempre tectónicos, lo que se aprecia particularmente en el borde E, a lo largo del cual cabalga sobre los metasedimentos silúricos epizonales.

Como la Unidad Superior, se caracteriza por agrupar litologías meso- y catazonales, orto- y paraderivadas, aunque tal vez más deformadas y retrogradadas. Comprende anfibolitas, neises anfibólicos, plagioneises y leuconeises muscovíticos, junto con micaesquistos, paraneises y micaesquistos feldespáticos, así como serpentinitas. Por no tener relación con el objeto de la investigación, no se insiste en el estudio de esta compleja unidad; pero existen descripciones petrográficas detalladas (Argüelles A., in: ENADIMSA, 1984). Su significado tectono-estratigráfico no está todavía esclarecido por completo, pero según las últimas correlaciones regionales publicadas (Arenas et al., 2000) podría corresponderse con las unidades basales de otros complejos y representar un segmento basal de la corteza continental de Gondwana, inicialmente subducido bajo el apilamiento ofiolítico y luego exhumado con éste.

Serpentinitas del Grupo Espasante-Moeche

Constituyen cuerpos discontinuos, de dimensiones hecto- a kilométricas, separados de las demás unidades por contactos mecánicos. Afloran sobre todo en la parte suroriental del área estudiada y pueden incluir lentejones carbonatados marmorizados, como el que se encuentra cerca de Moeche. En conjunto, se corresponderían con secciones de secuencias ofiolíticas epizonales desmembradas (Arenas, 1983). No se ha constatado ninguna relación con las mineralizaciones.

Se componen esencialmente de antigorita, con espinelas accesorias (cromita, magnetita, únicos relictos observados de la paragénesis ígnea primaria) y textura esquistosa, replegada. Ocasionalmente contienen talco, clorita, anfíbol, que pueden diferenciarse localmente como talcoesquistos, cloritoesquistos, etc., con o sin carbonatos (magnesita, dolomita).

Autóctono Relativo

Representado por metasedimentos y metavolcanitas epizonales, que afloran al Este del Complejo de Cabo

Ortegal, a los que se atribuyen edades de Silúrico-Devónico o más bien Silúrico Superior y que forman parte del flanco occidental del anticlinorio del Olló de Sapo, aflorante al Este (fuera de la zona de estudio). Sus contactos con el Complejo de Cabo Ortegal son claramente tectónicos, apareciendo cabalgado por las unidades de éste, en particular las del Grupo Espasante-Moeche en la zona de estudio. Por carecer de toda relación con los procesos de concentración mineral estudiados, su Petrología no será objeto de atención particular. Está formado por filitas, filitas feldespáticas, y otras para-rocas (areniscas, liditas, conglomerados), así como meta-volcanitas ácidas e intermedias. Dentro de esta Unidad se ha diferenciado en la cartografía una banda que discurre paralela al frente de cabalgamiento del manto suprayacente y que viene definida por el carácter milonítico de los materiales que la componen. Asimismo se han cartografiado niveles de metaareniscas de gran potencia que producen crestas características.

Reconocimiento y geología de labores mineras

Como ya se ha indicado, las mineralizaciones de mayor interés aparecen exclusivamente en la Unidad de Moeche. En las otras unidades aparecen esporádicamente mineralizaciones de sulfuros en forma de diseminaciones o rellenando fisuras, en general de escaso interés, excepto las mencionadas en las anfibolitas de Pena Escrita.

Dentro de la Unidad de Moeche se encuentran con frecuencia sulfuros diseminados en todos los tipos litológicos, pero existe una litología específica -los *cloritoesquistos cuarzo-piríticos*- en la que esta presencia es mucho más notable. La zona en donde esta litología aparece con mayor frecuencia y en donde se sitúan los indicios más importantes es la limitada al Norte por la falla de A Barqueira y al Sur por los aluviones cuaternarios del Valle de Moeche (*cf.* Mapa Geológico, fig. 1). Dentro de esta zona dichos cloritoesquistos afloran en diversos puntos. La escasez de afloramientos, la complejidad tectónica, así como el carácter lenticular de estos niveles, impiden delimitarlos con precisión: las bandas cartografiadas como cloritoesquistos cuarzo-piríticos, en realidad, representan zonas en donde esta litología es dominante. La banda que presenta mayor desarrollo discurre desde la mina d'A Barqueira hasta el valle de Moeche, con una corrida de 9 Km. y una potencia máxima de 300 metros.

Macroscópicamente, estas rocas se muestran como esquistos de color verde oscuro, con una foliación muy marcada (S_2 hercínica) en los niveles de clo-

rita, en los que se observan frecuentemente crenulaciones de fases tardías. Son muy frecuentes los lentejones de cuarzo. Presentan sulfuros diseminados, en ocasiones muy abundantes. Generalmente son cubos de pirita de hasta 1 cm de arista, distribuidos homogéneamente en la roca o formando lechos paralelos a la esquistosidad. Estos lechos pueden llegar a constituir extensos niveles de sulfuros masivos (como mínimo, del orden 10^4 m² de superficie, con potencias decimétricas, observados en la Mina Piquito II; las referencias acerca de la Mina Maruxa hablan de niveles explotados del orden 10^5 m² de superficie, con potencias métricas, cf. PNAMPM, 1982).

Cartografía Geológica

Por desgracia, el pésimo estado de conservación y las labores de acondicionamiento rural -más bien arrasamiento de todo vestigio minero visible- realizadas en los últimos años han hecho inaccesible una gran parte de la información, pero se han podido cartografiar las labores todavía no del todo colapsadas (Piquito II, Barqueira y Ponte Barbelas); en el caso de Mina Maruxa, sólo se han podido hacer observaciones en exterior y estudiar muestras de escombrera. (Ubicación: tabla 1 y fig.1)

Minas PIQUITOS

Grupo situado en la ladera S del Pico Pena da Cabra, al NE de Moeche. Se distinguen dos subgrupos: Piquito I y Piquito II.

- *Piquito I* - Es un conjunto de labores inaccesibles, que consisten en una serie de trincheras y galerías de escaso desarrollo, como indican los planos de labores antiguas consultados. Estas labores son muy antiguas y en ellas no se ha podido acceder a la mineralización.
- *Piquito II* - Es la labor más moderna y en mejor estado de conservación, pues se abandonó a principios de los años 60. Consiste en una galería principal de 226 m de largo, de la que parten dos galerías transversales, en las que están las zonas de explotación. En el metro 200 hay un pozo a superficie. De acuerdo con los planos de labores consultados existe un nivel de explotación superior, al que se accede por este pozo, en la actualidad impracticable, por lo que dicho nivel no ha podido ser reconocido. Las galerías accesibles y su cartografía geológica se representan en las figuras 3 y 4.

En la galería principal aparecen filonitas con niveles de cuarzo lenticular y niveles meta-arenosos con potencias centimétricas a decimétricas, así como filitas feldespáticas. Los buzamientos son en toda la mina muy tendidos. Se observa una gran cantidad de fallas, en general de gravedad, que desplazan los niveles. Al llegar al primer crucero, en el metro 137, aparece en el techo de la galería un nivel de sulfuros masivos con una potencia de hasta 30 cm, que sigue un trazado bastante rectilíneo hasta el metro 149, donde es cortado por una falla (Lám. 1.2 y fig. 3, Sección I). Por encima de este nivel hay esquistos verdes de pátina gris azulada en mina (*cloritoesquistos con pirita*, en fig. 3), que incluyen cuerpos lenticulares subhorizontales, de hasta 2 m de potencia, rojizos por oxidación debido a la gran abundancia de pirita, con sulfuros diseminados o en nivelillos masivos centimétricos a decimétricos (*cloritoesquistos piríticos*, en fig. 3); a veces las proporciones se invierten y son los primeros los que aparecen como relictos lenticulares en el interior de cuerpos tabulares de cloritoesquistos piríticos (*roca azul y roca roja*, respectivamente, en lám.1.3). Estos últimos han sido explotados por el método de cámaras y pilares en dos grandes cámaras de 2 m de alto por 20 de ancho y 40 de largo y de 2 x 20 x 30 metros. En el transversal del fondo, cerca del pozo, existe una falla que pone en contacto las filitas con esquistos verdes y un nivel de sulfuros masivos subyacente (fig. 3, Sección III). Por encima aparecen niveles lenticulares de cloritoesquistos con sulfuros diseminados y nivelillos de sulfuros masivos, explotados en el frente Sur.

En resumen, una columna general para esta labor sería la representada en la Sección *Estratigrafía Aparente* (fig. 3), donde aparecen, de muro a techo:

- Filitas, filonitas y meta-arenitas.
- *Sulfuros masivos* en un nivel tabular de hasta 30 cm de potencia.
- Esquistos verdes con impregnación irregular de sulfuros (*cloritoesquistos con pirita*).
- Cuerpos lenticulares de cloritoesquistos cuarzosos con abundantes sulfuros diseminados y sulfuros masivos en niveles centimétricos (*cloritoesquistos piríticos*).

Estas litologías se corresponden claramente con las cartografiadas en el exterior de la mina (fig. 1), dentro de la Unidad de Moeche. El primero de estos niveles corresponde a los *Metasedimentos filíticos* y los tres siguientes se integran en la banda cartografiada como *Cloritoesquistos cuarzo-piríticos*. Es interesante notar la ausencia, prácticamente total, de sulfuros en los metasedimentos de muro y la concordancia de éstos con el nivel de sulfuros masivos.

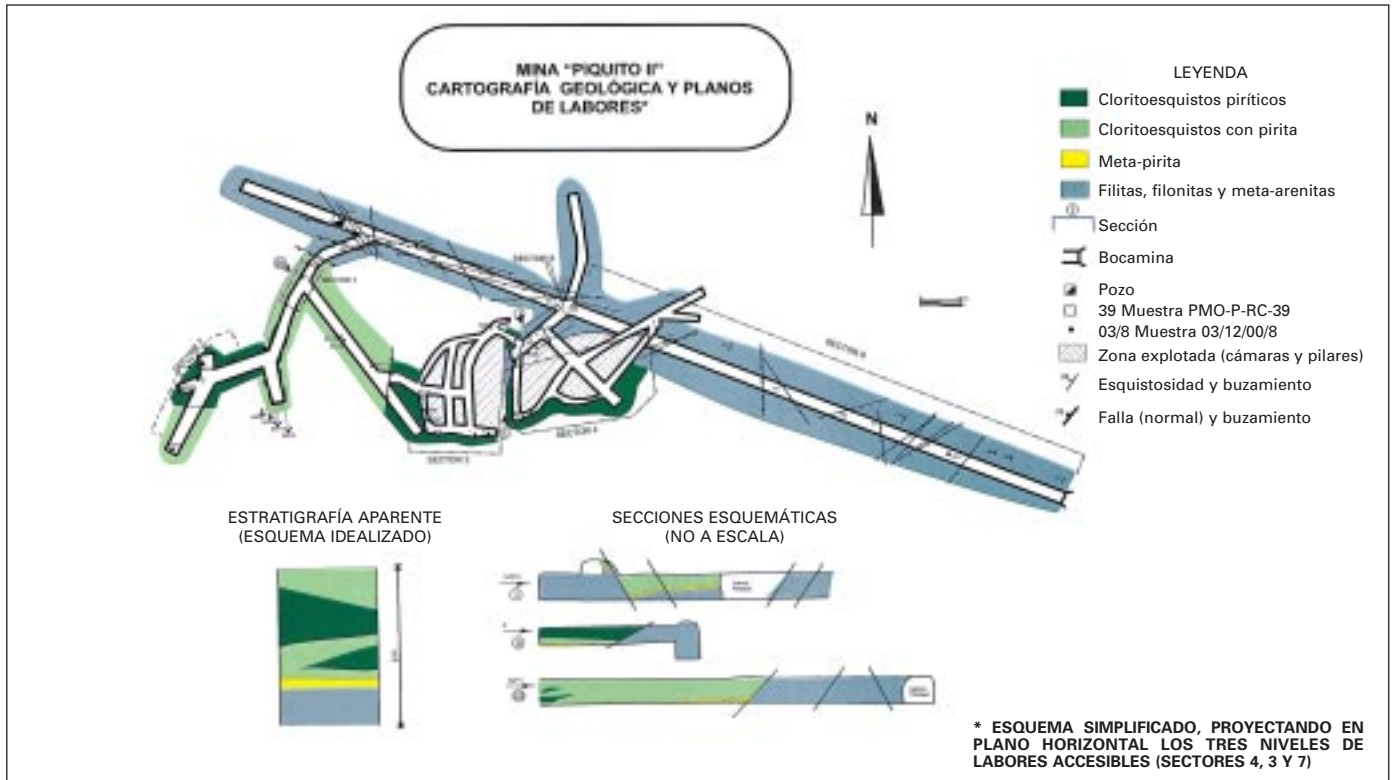


Fig. 3. Mina "Piquito II": Cartografía Geológica y Planos de Labores
 Fig. 3. Geological sketch-map and underground works of the Piquito II mine

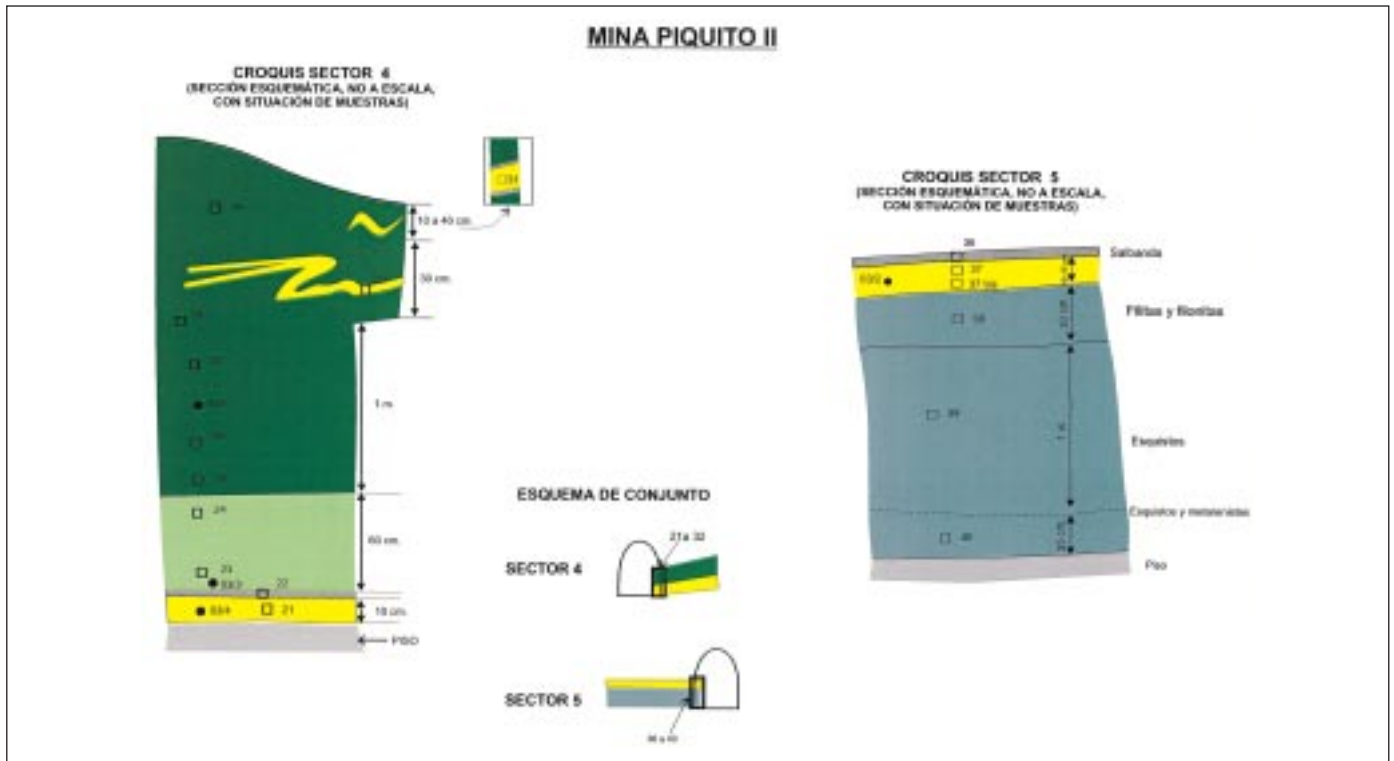


Fig. 4. Mina "Piquito II": cortes geológicos (sectores 4 y 5 de la fig. 3)
 Fig. 4. Piquito II mine: geological cross-sections (refer to fig. 3 for location)

vos, aunque los contactos pueden estar milonitizados. Como se verá, esta serie estratigráfica, tal como se observa en Piquito II, está invertida.

Se han tomado sistemáticamente (figs. 3 y 4) muestras para su estudio mineralógico, petrográfico y geoquímico. De estas últimas (de 10 kg. cada una, en rozas verticales, sobre los cloritoesquistos; muestras del nivel completo en los sulfuros masivos) resultaron contenidos totales de hasta 1,65% Cu en el nivel de sulfuros masivos (tabla 2).

Minas d' A Barqueira

Situadas junto al pueblo del mismo nombre (Término Municipal de Cerdido), consisten en una serie de pozos verticales, realces y galerías, habitualmente colapsadas, que por lo que se ve explotaron un paquete, prácticamente vertical, de niveles de sulfuros. La figura 5 muestra en esquema las galerías todavía practicables, con su correspondiente cartografía geológica y ubicación de muestras. Estas galerías representarían sólo un 20% del total, según la información disponible. La estructura es visible en la sección I-I' (figura 6).

El socavón o galería principal (GP, fig. 6), de 175 m y realizada desde el metro 60 hasta casi el final, sigue el trazado de una zona de falla subvertical, de rumbo medio N 30°E. Las frecuentes eflorescencias cupríferas (lám. 1.4) sugieren mayores leyes en cobre que en Piquito II. Existen tres pozos a superficie y los realces, en algunos lugares, llegan hasta la ladera del monte, a 30 m de altura. De esta galería principal parten transversales de escasa longitud y recortes de investigación, que atraviesan varias fallas y han descubierto zonas mineralizadas menores, con diseminaciones de pirita y calcopirita (lám. 1.4). Dichas labores han dado lugar a dos galerías secundarias (G2 y G3, fig. 5) sub-paralelas a la principal, que siguen sendos cuerpos mineralizados, pero que no han tenido continuidad en nuevos frentes de explotación.

El cuerpo mineralizado principal, cuyo trazado coincide con el de la galería, es apenas visible, dado el estado de las labores. Aparece como un nivel de sulfuros masivos verticalizado y fuertemente deformado, con potencias decimétricas en algunas zonas, pero frecuentemente reducido a un paquete de nivelillos centimétricos, encajados en una zona de fractura de potencias métricas; se observan cuerpos irregulares de sulfuros masivos de hasta 50 cm. En la zona de mayor potencia, junto al pozo central, este paquete explotado alcanza una potencia de 4 m., pero siguiendo la galería, hacia el NE y SO de dicho pozo,

se acuña y llega a desaparecer. El conjunto está muy fracturado y la roca presenta un aspecto cataclástico muy acusado, que se superpone a una intensa deformación dúctil.

En las galerías secundarias, situadas al SE de la principal, aparecen sendos cuerpos lenticulares, aproximadamente paralelos al conjunto explotado en la galería principal, de cloritoesquistos piríticos relativamente ricos y fuertemente deformados, encajados en esquistos verdes con pirita diseminada, más pobres en sulfuros.

Todo este conjunto aparece envuelto en esquistos verdes más banales, estériles, de la Unidad de Moeche. Éstos tienen, sin embargo, algunas peculia-

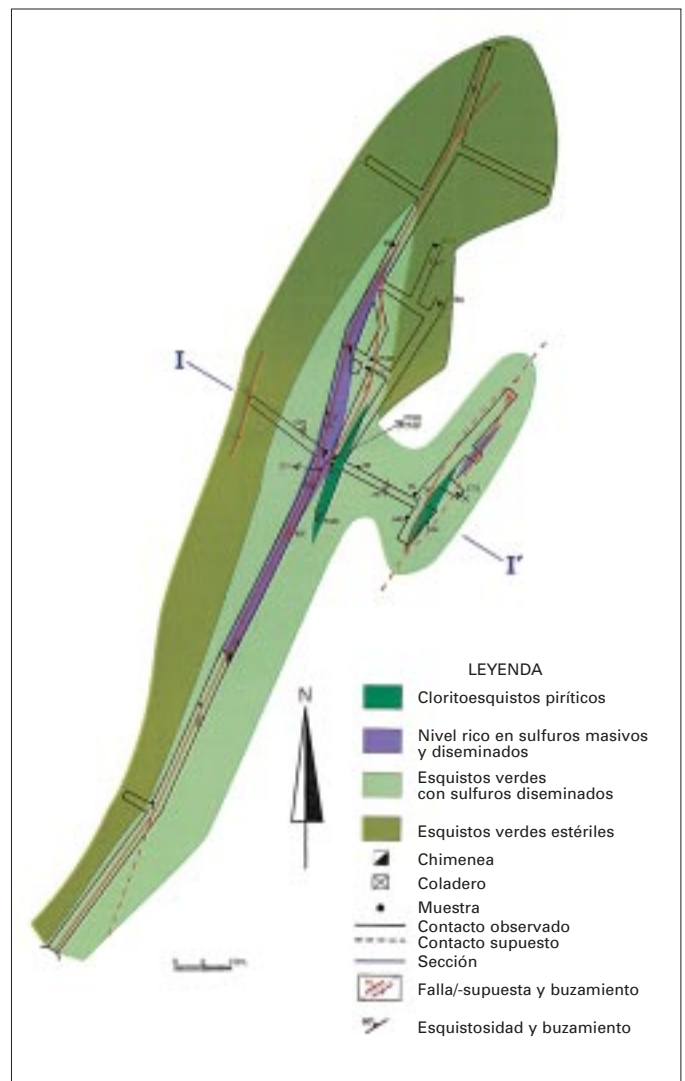


Fig. 5. Mina D'A Barqueira: Cartografía Geológica y Plano de Labores

Fig. 5. Geological sketch-map and underground works of the Barqueira mine

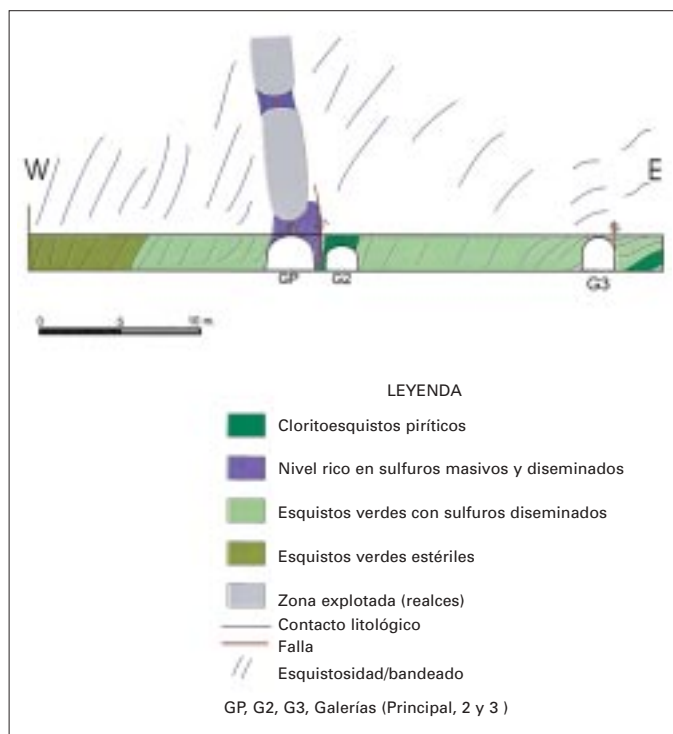


Fig. 6. Mina D'A Barqueira: Sección I-I' de fig. 5 (croquis)
 Fig. 6. Cross-section (I-I' in fig. 5) of the Barqueira mine

ridades: su mayor riqueza en anfíbol (frecuentes esquistos actinolíticos/hornbléndicos), su milonitización generalizada, a la que se superpone la brechificación ligada a las fracturas mencionadas y la deformación hercínica tardía que, en el limitado espacio de observación del interior de la mina (v. Sección I-I', fig. 6), hace pasar la esquistosidad S_2 de subhorizontal (al E) a subvertical (al O). Restituído el conjunto a su morfología original (pre-Fase 3), resultaría similar a

Piquito II, aunque es de notar la ausencia de los meta-sedimentos filíticos y la mayor abundancia de esquistos anfibólicos en A Barqueira.

Mina MARUXA

Parece haber comprendido un importante grupo de labores, con varios pozos y galerías -planta metalúrgica incluida: Lám. 1.1-, situado cerca de la localidad de Cabanas, unos 3 km al SE de Barqueira. En 1984 se veían todavía, aparte de una importante escombrera, vestigios de labores y la entrada de la galería principal, que hacían pensar en explotaciones por cámaras y pilares de sulfuros masivos con buzamientos próximos a la horizontal, como en Piquito II (ENADIMSA, 1984). Actualmente el lugar está totalmente recubierto -Lámina 1.1- y son muy escasos los vestigios que quedan de la escombrera, de la que procede el material estudiado.

Ponte Barbelas y otros indicios

Se trata de rocas cloríticas hojosas, similares a las de Piquito II, con sulfuros diseminados que tienden a adoptar una disposición bandeada paralela a la esquistosidad, en finos nivelillos de espesores del orden mm/cm, constituídos esencialmente por pirita recristalizada, cuyo estudio no añade ninguna novedad a lo ya observado en dicha mina. Destacan las labores abandonadas al lado de Ponte Barbelas, a unos 3 km al SSO de A Barqueira (fig.1). Pertenecen a la banda de cloritoesquistos cuarzo-piríticos que se prolonga, hacia el Norte, hasta la zona de A Barqueira.

MUESTRA	TIPO M=Masiva D=Diseminada	CONTENIDO en ppm							Zn Zn+Pb	Au/Ag x 10 ²	Cu Cu+Zn
		Cu	Pb	Zn	Au	As	Ag	Ag			
1	M	15.000	90	610	0,18	70	7	0,87	2,6	0,96	
2	M	2.400	90	150	0,16	55	3	0,625	5,3	0,94	
3	M	10.050	70	690	0,20	55	5	0,91	4	0,98	
4	M	16.500	70	320	0,23	60	8	0,82	2,9	0,98	
5	D	970	20	260	0,13	15	4	0,93	3,2	0,79	
6	D	370	30	500	0,08	20	3	0,94	2,7	0,43	
7	D	510	20	470	0,08	10	2	0,96	4	0,52	
8	M	8.000	90	160	0,17	50	7	0,64	2,4	0,99	
9	M	3.500	50	530	0,12	15	6	0,91	2	0,87	
10	M	1.580	30	570	0,06	15	3	0,95	2	0,73	

Tabla 2. Mineralizaciones sulfuradas (Mina Piquito II): resultados analíticos y parámetros geoquímicos
 Table 2. Analytical results and geochemical data on sulfide ores from the Piquito II mine



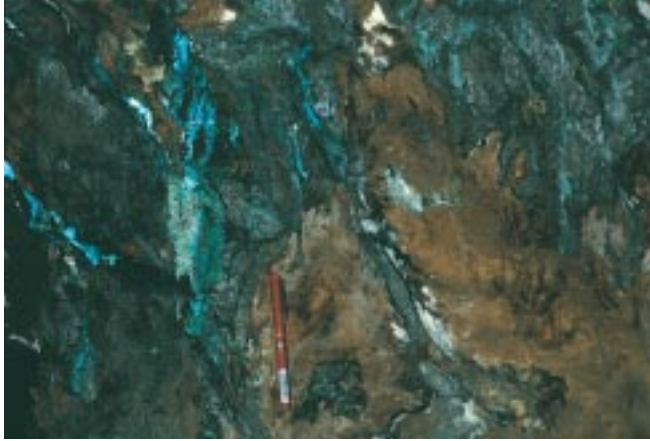
1.1



1.2



1.3



1.4



1.5



1.6

Análisis estructural de los cuerpos mineralizados

Se ha procedido a un análisis comparativo de la geometría del entorno y de los cuerpos mineralizados, por sus implicaciones para la interpretación genética del yacimiento. Como referencia general del entorno, se parte de las proyecciones estereográficas ya discutidas (fig. 2).

Minas Piquitos

El único elemento estructural constante y manifiesto es un plano de orientación media N 30°E, 15-20°O (máxima concentración de polos de 164 medidas: N 30°E, 19°O). Ésta es, en líneas generales, la orientación dominante de todos los contactos bien definidos, de la esquistosidad y del fino bandeo composicional paralelo a dicho plano. No se ven estructuras plegadas a gran escala, pero sí apretados meso y micropliegues sobre bandas o lenticulas de cuarzo y de sulfuros, cuya superficie axial tiende a confundirse con dicho plano dominante.

Se han medido las superficies siguientes en distintos sectores de la mina, para su análisis en proyección estereográfica: S_0 , hipotéticos planos de estratificación; S_2 , esquistosidad dominante; S, restantes superficies, en las que suele coincidir la orientación de los filosilicatos y la del bandeo.

Los estereogramas obtenidos -fig. 7, comparar d, e y f- no muestran diferencias esenciales entre S_0 , S_2 y S, lo que concuerda con la conclusión de que la única superficie penetrativa que puede distinguirse sin lugar a dudas en la Unidad de Moeche es la esquistosidad de segunda fase, S_2 , ligada a la milonitización

sin-metamórfica, que podría obliterar S_0 o coincidir con ella, por transposición. Los pliegues menores observados no se manifiestan en el estereograma. Los dos sectores estudiados del nivel masivo -fig. 7 a y b, se han medido contactos de muro o de techo del nivel- no presentan diferencias significativas entre sí. En lo esencial coinciden también con el estereograma de " S_0 " de las filitas inferiores (Figura 7 c); la dispersión ligeramente mayor que se observa en éste podría explicarse simplemente por la menor competencia de estas rocas en comparación con el nivel pirítico. Al reunir todas estas medidas en un solo estereograma S_0 (Figura 7 d), se observa que se obtiene un resultado prácticamente equivalente al de las S (Figura 7 e) y S_2 (fig. 7 f), si bien con una dispersión ligeramente mayor para S_0 , como corresponde a una transposición que no ha llegado a la obliteración total de S_0 .

La geometría de los cuerpos masivos principales excluye su origen por movilización metamórfica, por consideraciones espaciales evidentes: se trata de cuerpos tabulares extensos y continuos, esencialmente paralelos a la esquistosidad (comparar figs. 7 d y 2 b) y, por tanto, precisamente en posición transversal a la compatible con dicho origen (la de las vetas extensionales); esta geometría puede, en cambio, explicarse fácilmente mediante transposición tectónica de cuerpos preexistentes, concordantes con S_0 . Se trata de cuerpos metamorfizados, no metamorfogénicos. Otras observaciones (mineralógicas y texturales, como se verá) lo corroboran.

Teniendo en cuenta el ámbito geológico de los protolitos (basaltos de fondo oceánico, cf. Petrología), estos resultados sugieren un origen volcánico-sedimentario de los niveles masivos de sulfuros

Lámina 1: **1.1.** Único vestigio que subsiste de la Mina Maruxa: chimenea de la planta. Denso recubrimiento vegetal sobre los cloritoesquistos de la Unidad de Moeche; **1.2.** Nivel subhorizontal de sulfuros masivos (a la altura de la mano), concordante sobre unidad de meta-sedimentos filíticos, interrumpido por falla normal (señalada) que hace aparecer elevada, a la izquierda, dicha unidad metasedimentaria. A techo del nivel pirítico masivo aparece la banda de cloritoesquistos cuarzo-piríticos (detalle en lám. 1.3.). Esta imagen muestra una sección completa de la estratigrafía (invertida) que puede observarse en la Mina Piquito II; **1.3.** Cloritoesquistos cuarzo-piríticos de la Unidad de Moeche en frente abandonado (a techo del nivel de sulfuros masivos de 1.2.): cuerpo masivo de color pardo-rojizo (roca roja rica en pirita, parcialmente limonitizada: cloritoesquistos piríticos) con lentejón relicto oscuro (roca azul, rica en epidota y actinolita: cloritoesquistos con pirita); **1.4.** Entramado de vetillas y segregaciones sulfuradas ricas en calcopirita (eflorescencias de azurita y crisocola) replegadas (Fase 3, plano axial vertical) en cloritoesquistos piríticos, próximos a la falla de la galería principal. Mina A Barqueira; **1.5.** Típico aspecto de la mineralización sulfurada masiva, con orientación tectónica, microbrechificada (Mina Piquito II). Muestra de mano pulida longitud aproximada en torno a los 10 cm; **1.6.** Típico aspecto de la mineralización sulfurada bandeada milonítica (Mina Maruxa). Muestra de mano pulida, longitud aproximada en torno a los 10 cm

Plate 1: 1.1. Surroundings of Maruxa Mine: thick soil and vegetation cover on the Moeche chlorite schists; plant chimney, only visible remnant of the mine; 1.2. Inverted stratigraphy in the Piquito II mine (from top to bottom): feeder zone, represented by chlorite-pyrite schists (detail in 1.3), massive sulfide bed (hand level), and phyllitic metasediments; the normal fault pointed out cuts the whole section, letting only the phyllites crop out to the left; 1.3. Quartz pyrite chlorite schists of the Moeche Unit, in the Piquito II mine, above the massive sulfide bed: mass of red rock (oxidized pyrite chlorite schist) with relict lenses of blue rock (pyrite bearing epidote actinolite chlorite schists); 1.4. Deformed and folded copper-rich stockwork (enhanced by secondary azurite and chrysocolla) in pyrite chlorite schists, Barqueira Mine; 1.5. Polished handsample of typical Piquito II massive sulphide ore, showing microbrecciation and tectonic orientation (length of sample about 10 cm); 1.6. Polished handsample of mylonitic banded massive sulphide ore from the Maruxa Mine (length of sample about 10 cm)

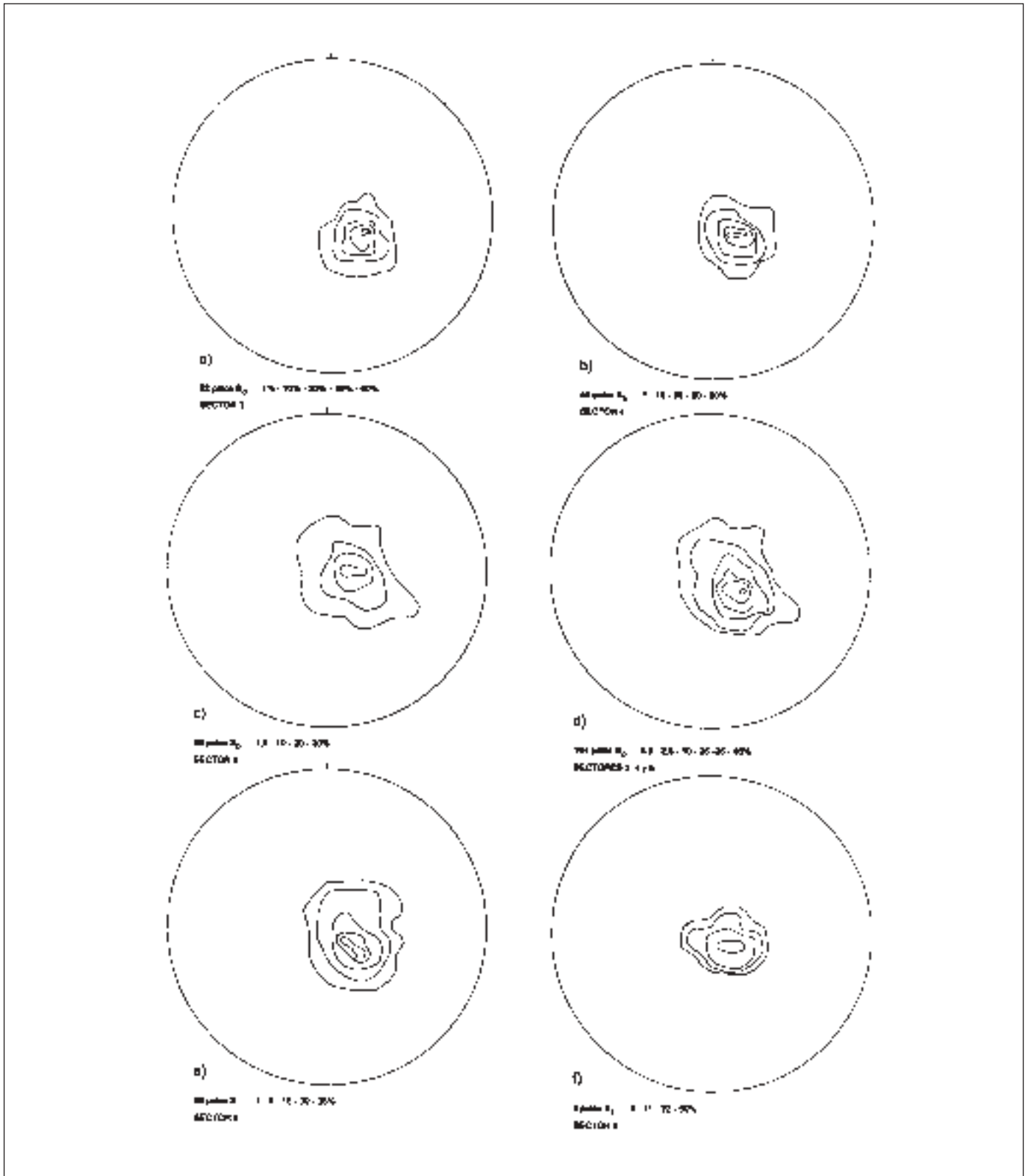


Fig. 7. Orientaciones de la estratificación (S_0), esquistosidad (S_2) y otras superficies (S) en sulfuros masivos y encajante de la mina Piquito II. Proyección estereográfica de polos en falsilla de Schmidt. Explicación y discusión en texto
 Fig. 7. Orientation of bedding (S_0), schistosity (S_2) and other surfaces (S) in massive sulphides and host rocks, Piquito II mine. Stereographic projection of poles in equal area net. See text for explanation and discussion

y de la roca de caja, obliterándose posteriormente las estructuras primarias por laminación tectónica, con deformación dúctil penetrativa -excepto en el interior del nivel masivo: Lámina 1.5- y desarrollo de esquistosidad milonítica sin-metamórfica, causa de la transposición casi total de las estructuras primarias (S_0 y raíces o vetas del *stockwerk* subyacente). La consecuencia de esta interpretación es que la estructura actual está invertida. En efecto, el techo del yacimiento sólo puede estar representado por las filitas (estériles, inalteradas, y, por tanto, post-mineralización) y la zona de raíz (alterada y con mineralización diseminada o en vetillas), por los cloritosquistos superiores.

Mina Barqueira

Por sus condiciones de afloramiento y de seguridad, esta mina no ha podido ser investigada con el mismo detalle que Piquito II. La galería sigue una fractura -más bien, zona de falla- de dirección N 30°E y buzamiento 80° E a vertical, en cloritoesquistos similares a los de Piquito II, excepto en la mayor abundancia de anfíbol en Barqueira. Como en Piquito II, hay dos tipos de mineralizaciones sulfuradas (piríticas): masivas y diseminadas. Las primeras forman cuerpos tabulares o lenticulares de potencias variables (10 a 50 cm), a veces cizallados o aparentemente boudinados, que se disponen a lo largo de la zona de falla, paralelamente al plano de ésta. Su aspecto recuerda, en apariencia, al de un filón o serie de filones de pirita paralelos o subverticales, pero no hay vestigios ni de estructuras de relleno filoniano ni de alteraciones específicas en el encajante. Las mineralizaciones diseminadas no se diferencian en nada de las de Piquito II. En síntesis, no se han observado otras diferencias entre las mineralizaciones de ambas minas que la distinta orientación de los cuerpos masivos y las inherentes a las acciones tectónicas, aunque el aspecto de ambas explotaciones -grandes realces, sobre la zona de falla subvertical, en A Barqueira; cámaras y pilares en Piquito II- sea totalmente distinto.

Por lo que respecta a la estructura, en conjunto, podría resumirse en una geometría fuertemente laminada como la de Piquito II, pero, a diferencia de ésta, posteriormente deformada (tanto S_0 , transpuesta, como S_2 , figs. 5 y 6). Está verticalizada y brechificada en la parte más rica, en la que el nivel sulfurado aparece reducido a jirones y afectado por movilizaciones parciales. Falta la zona filítica, pero la zona de raíz o *stockwerk* -muro estratigráfico del yacimiento- está representada, como en Piquito II, por metavolcanitas

epizonales, esquistos clorítico-anfibólicos en este caso. Se observan fuertes cambios en la orientación de S_2 . Ésta pasa gradualmente de buzamientos subhorizontales, al E de la Mina, a subverticales en la galería principal y fuertemente inclinados (hacia el O) a lo largo del transversal O a partir de dicha galería (Sección I-I', figs. 5 y 6), dibujando un amplio pliegue de eje norteado y plano axial subvertical, explicable por deformaciones tardi-hercínicas (Fase 3). En su parte central, más verticalizada y coincidiendo precisamente con el nivel principal de sulfuros, este pliegue está afectado por una falla o superficie de despegue, probablemente coetánea y condicionada por el marcado contraste reológico entre la metapirita y los cloritoesquistos.

Mina Maruxa, Ponte Barbelas, Pena da Cabra y otros indicios

Las observaciones realizadas sobre las restantes manifestaciones sulfuradas reconocidas en la Unidad de Moeche se conforman al mismo modelo. En Mina Maruxa se observan masas laminadas al estilo de Piquito II e incluso más deformadas, con pliegues en vaina del encajante esquistoso (Lámina 1.6), que evidencian un pronunciado carácter dúctil.

Petrología

La Unidad de Moeche, encajante de las mineralizaciones, ha sido interpretada como integrante de una serie ofiolítica, metamorfizada y actualmente dislocada en diversos bloques (Arenas, 1988). Los esquistos cloríticos (metabasitas), típica litología de la unidad, representan basaltos de fondo oceánico, de composición tholeítica equivalente a N-MORB, pero con influencias de una corteza continental extremadamente atenuada (Sánchez Martínez *et al.*, 2003). El metamorfismo, superpuesto al hidrotermal de fondo oceánico, se desarrollaría durante la colisión hercínica (364 Ma, Dallmeyer *et al.*, 1997), en unas condiciones P-T estimadas en torno a 3 kb y 400°C (Arenas, 1988), a partir de los siguientes datos (*ibid.*): el barómetro de Brown (1977) sugiere 2 Kb de presión, mientras que el termobarómetro de Plyusnina (1982) indica 425°C y 2,5 Kb y el solvus moscovita-paragonita (Eugster *et al.*, 1972), 300 a 400°C, siempre para los esquistos miloníticos de la Unidad de Moeche o, en el último caso, para las metapelitas y metabasitas. En cualquier caso, hay coincidencia en el grado epizonal y en un metamorfismo de baja presión. Teniendo en

cuenta la mineralogía realmente observada en los esquistos verdes, el primer barómetro, basado en el contenido en crossita de los anfíboles cálcicos, es el que parece más directamente aplicable, ya que la composición del par plagioclasa-hornblenda utilizado en el segundo es inferida. Por ello se retiene, de momento, como posiblemente más significativo para el metalotecto estudiado el valor de 2 Kb.

El entorno inmediato de las mineralizaciones se ha caracterizado por una sección típica de la mina *Piquito II* (cf. Cartografía y figs. 3 y 4), cuyas litologías se describen a continuación (las mineralizaciones sulfuradas, aunque asociadas a los cloritoesquistos cuarzo-piríticos, se tratan en apartado específico). Las secciones correspondientes a las demás minas pueden considerarse análogas, aunque menos completas: faltan los metasedimentos filíticos, estando los sulfuros encajados en cloritoesquistos, a muro y a techo (cf. figs. 5 y 6).

Los *metasedimentos* comprenden finas alternancias de meta-lutitas (filitas) y meta-arenitas (a menudo feldespáticas), frecuentemente miloníticas (filonitas) y más o menos recristalizadas; ocasionalmente dominan bandas filosilicatadas (cloríticas y/o moscovítico-sericíticas) más potentes, que pueden inducir a confusión con los cloritoesquistos de techo, pero en general éstos son mucho más homogéneos, frente al aspecto finamente tableado de los metasedimentos. La fracción detrítica está constituida principalmente por cuarzo, albita y filosilicatos, aunque éstos manifiestan una blastesis metamórfica dominante y no es fácil diferenciar la primera generación; como accesorios se observan esfena/leucoxeno (a veces abundante), anatasa, turmalina, apatito, grafito, circón, magnetita, ilmenita, limonita y sulfuros. Éstos (pirita, esfalerita, calcopirita y pirrotina) se encuentran únicamente en las zonas en contacto inmediato con el nivel masivo (salbanda de escasos mm de espesor) y muestran evidencias de movilización hidrotermal, probablemente condicionada por el metamorfismo dinámico. Es notable la abundancia de albita, blastopsammítica pero análoga a la que se encuentra en los cloritoesquistos de techo.

Los *cloritoesquistos cuarzo-piríticos* comprenden, en detalle, tipos petrográficamente variados, pero generalmente locales y muy subordinados a las litologías dominantes, cuarzo-cloríticas o actinolíticas, con albita, pirita (+/- calcopirita), esfena, anatasa/leucoxeno y epidota/clinozoisita, como acompañantes habituales, a los que en ocasiones se añaden carbonatos (calcita) y/o hornblenda. Desde el punto de vista petrográfico, pueden definirse cloritoesquistos albiticos, cloritoesquistos albitico-epidóticos carbo-

natados, epidotas/epidotitas anfibólicas, cloritoesquistos anfibólicos, cloritoesquistos cuarzo-albiticos y cloritoesquistos cuarzo-piríticos, ricos en sulfuros. Se han diferenciado tres tipos principales, por su significado petrológico: *cuarzo-cloríticos*, *cuarzo-clorítico-albiticos* y con *clorita-albita-actinolita-epidota-cuarzo*; cualquiera de los tres tipos puede tener además, en las zonas mineralizadas, sulfuros como componente principal.

La estructura, siempre orientada, puede ser masiva o bandeada; en este caso, se producen alternancias de tipos dominados por dos o tres minerales, a veces incluso monominerálicos (epidotitas, clorititas, bandas actinolíticas o piríticas, microbandas de cuarzo, ya granoblásticas ya en *ribbon*, de carbonato, etc.). Pueden citarse como ejemplos característicos las alternancias ya sea de clorita + epidota y de cuarzo + clorita + albita, ya de pirita +/- clorita o actinolita y de cuarzo +/- clorita o bien de clorita + actinolita + esfena/leucoxeno y de carbonato + cuarzo, que originan marcados contrastes de color a escala milimétrica, dentro del tono verde oscuro dominante de la roca.

Las texturas, normalmente lepidoblásticas a lépido-granoblásticas de grano fino a medio, con frecuencia son miloníticas a ultramiloníticas, manifiestas o relictas (Lám. 2.2), con una esquistosidad dominante (S_2), paralela a la esquistosidad milonítica y a veces crenulada (por S_3). Se observan frecuentes pórvido- a micro-clastos de pirita, albita, esfena, anatasa y epidota, así como de actinolita u hornblenda, ocasionales "peces" de mica o clorita y fragmentos de roca más o menos triturados, entre los cuales destacan los de vetas de cuarzo hidrotermal, aunque este mineral muestra habitualmente una deformación dúctil, con *ribbon* más o menos recristalizados. La blastesis post-milonítica es también bastante común y se manifiesta de forma espectacular en los sulfuros (pirita sobre todo: Lám. 2.2), pero también en la aparición de texturas granoblásticas y/o granolepidoblásticas a lepidoblásticas sobre las miloníticas relictas.

La deformación, intensa y de carácter dúctil, se acentúa más en estrechas bandas de cizalla, con intercalaciones de roca menos deformada, en la que a menudo se observan texturas pre-deformación bien preservadas, como ocurre con los abundantes microlitos de albita diseminados en los cloritoesquistos. Estos microlitos no pueden interpretarse sino como relictos de texturas primarias de las metavolcanitas. Coexisten con fenoblastos y pórvido-clastos de albita de generación indudablemente metamórfica (Lám. 2.1).

En general, la deformación en condiciones epizo-

nales no parece alterar el equilibrio mineralógico previamente establecido, aunque actúan mecanismos de disolución por presión y de reprecipitación, es decir, de transferencia por disolución (*solution-transfer*, Durney, 1972), los cuales llegan a ser generalizados en el caso de los sulfuros. Puede pensarse que las asociaciones metamórficas pre-hercínicas sobrevivieron -al menos en parte- también durante este episodio. En otras palabras, las diferenciaciones metamórficas mencionadas, difíciles de explicar mediante un metamorfismo regional isoquímico y de génesis tampoco evidente por metamorfismo dinámico (es decir, por procesos puramente mecánicos de diferenciación), apuntan a un protolito previamente diferenciado. El metamorfismo de fondo oceánico, esencialmente metasomático, proporciona una explicación plausible. Según las investigaciones sobre sistemas actuales de dorsal oceánica (Mottl, 1983), con relaciones fluido-roca o *WRR* (*Water-Rock Ratio*) crecientes se producen, progresivamente, las asociaciones clorita + epidota + albita + actinolita + cuarzo (*WRR* bajos), clorita + albita + cuarzo y clorita+cuarzo (*WRR* altos), equivalentes a las aquí descritas.

En *Maruxa*, aun siendo dominantes los tipos descritos, existen litologías peculiares, muy ricas en hierro pero no sulfuradas, sino oxidadas (magnetita y/o hematites dominan sobre pirita o calcopirita), bandeadas o no; casi siempre deformadas, a veces metasomáticas y granoblásticas, como las corneanas o esquistos de magnetita-estilpnomelana o de magnetita-calcopirita (Lám. 2.5). La formación de estas rocas con abundante estilpnomelana implica condiciones epizonales y un protolito muy rico en Fe y pobre en Al y Mg, previsible en condiciones exhalativas.

Mineralogía, geoquímica, termobarometría y génesis de las formaciones sulfuradas

Por su similitud, se tratarán conjuntamente todas las minas e indicios, descritas según el modelo de Piquito II, que muestra la serie litológica más completa y menos deformada, aunque se comentarán al final algunas peculiaridades (*Maruxa*).

El nivel masivo está constituido por una masa estratiforme sulfurada, con potencias en torno a 15 a 50 cm y dimensiones laterales reconocidas del orden del centenar de m, aunque pueden ser mayores. La composición es esencialmente pirítica, con cantidades subordinadas de ganga silicatada (ocasionalmente carbonatada); la relación ponderal sulfuros/ganga suele oscilar entre 80/20 y 90/10. En Mina *Maruxa* magnetita y hematites son frecuentes.

Las texturas son masivas, a veces finas o incluso colomorfas relictas, pero frecuentemente recrystalizadas (*meta-piritita*) o brechificadas. En este último caso, puede aumentar la cantidad de ganga, como cemento, a veces hasta proporciones considerables (próximas al 50%, localmente). Los contactos con el encajante se producen a través de salbandas milimétricas, frecuentemente tectonizadas, en las que puede reconocerse una zona transicional, milonítica o brechoide, con movilización parcial de sulfuros, entre el encajante y la meta-piritita. En casos extremos, la salbanda se reduce a una fina banda arcillosa, muy deleznable.

La pirita, componente esencial de las meta-pirititas, suele mostrar anisotropía óptica anómala. Sus texturas más frecuentes son idio- a granoblásticas y cataclásticas; en este caso, no es raro que esté cementada y corroída por calcopirita o, más raramente, por ganga. La cataclasis es un fenómeno ubicuo, que se traduce habitualmente en fragmentación o brechificación, en distintos grados, de la masa pirítica (Lám. 2.3), la cual puede convertirse en auténticas cataclasitas -luego más o menos recrystalizadas- o, localmente, deformarse por flujo cataclástico. Se aprecian también frecuentes efectos de presión-disolución sobre los cristales o clastos de pirita, que pueden dar lugar a movilizaciones locales, mediante transferencia por disolución (Durney, 1972). Estos fenómenos de deformación, que ocurren típicamente en el dominio frágil para la pirita, se han observado actuando únicamente a pequeña escala y no alteran en lo esencial, a escala mesoscópica, la morfología tabular del nivel pirítico, que se comporta como un estrato competente, con cizalla paralela a sus contactos, concentrándose el movimiento sobre las salbandas, más dúctiles, en las que se produce el mayor contraste reológico y los posibles despegues. No obstante, dicho nivel aparece, en ocasiones, truncado o dislocado por fallas tardías (normales en Piquito II) En general, las deformaciones son más intensas y ubicuas en la mina *Barqueira*, fuertemente afectada por episodios tardíos.

Calcopirita es un acompañante ubicuo de pirita, aunque habitualmente accesorio o escaso. No obstante, puede llegar a ser abundante: de las medidas de composiciones modales, realizadas mediante *análisis digital de imagen*, sobre muestras seleccionadas en algunos frentes, resultan contenidos de calcopirita de hasta el 30% del total de sulfuros. Se encuentra frecuentemente incluida en pirita; también intersticial o como cemento, en las masas piríticas cristalinas o brechificadas (Lám. 2.3); otras veces, diseminada, en lenticulas o en microfisuras en la ganga. Cuando

no está blindada en pirita o bloqueada en los espacios intersticiales de agregados piríticos rígidos, su comportamiento es dúctil y puede movilizarse plásticamente. Recristaliza con facilidad y puede presentar texturas granoblásticas, desarrolladas incluso en microlenticulas deformadas. Esfalerita, acompañante también frecuente, es sin embargo muy raramente abundante: los contenidos modales medidos por análisis digital de imagen son habitualmente <0,1% y sólo en una muestra, con 4% modal, se acerca al rango de componente principal. Es de notar que dicha muestra procede de la Mina Barqueira, la única donde este mineral llega a abundar. Generalmente forma pequeñas inclusiones en pirita -las de mayor tamaño muestran a veces emulsión de calcopirita-, pero puede presentarse también intersticial y, a veces, en microclastos o en pequeños *augen*, en bandas miloníticas o intensamente deformadas.

Otros componentes habituales pero escasos son galena, pirrotita, magnetita, hematites, marcasita y, muy escasos (o en trazas), mackinawita, linneita, cubanita, oro nativo y plata nativa o *electrum*. Suelen presentarse en pequeñas inclusiones en pirita o en calcopirita; el oro nativo, a veces, movilizado en microfisuras. La pirrotita puede haber sido más frecuente de lo que parece, a juzgar por las texturas *bird's eye* (pirita, marcasita) encontradas. Como componentes secundarios, de origen supergénico, se encuentran covellina y limonita frecuentes, calcosina escasa y, ocasionalmente, eflorescencias de malaquita, azurita, crisocola, calcita o yeso, que pueden ser abundantes.

En resumen, se destacan los siguientes rasgos característicos del nivel masivo: mineralogía muy simple (pirita y calcopirita esencialmente, esfalerita muy subordinada), aunque entre los minerales presentes como trazas haya algunos poco comunes; texturas con marcada impronta de un metamorfismo dinámico que afecta a una piritita previamente cristalizada (poikilo- e idióblastos truncados) y que, a su vez, es parcialmente obliterado por episodios ulteriores de recristalización, en buena parte ligada a mecanismos de transferencia por disolución puntuales; movilización metamórfica de los sulfuros por fenómenos de presión-disolución, frecuentes pero muy limitados en términos de distancia de transporte; escasos vestigios de texturas primarias: únicamente fantasmas o relictos coliformes y de framboides parcialmente recristalizados, que sugieren un medio de deposición submarino y apuntan a una génesis volcánico-sedimentaria; los mecanismos de deformación constatados en la meta-piritita sugieren que el metamorfismo dinámico no llegó a superar la transición

frágil-dúctil para pirita y esfalerita, pero sí para calcopirita.

En el encajante cuarzo-pirítico, los sulfuros forman ya sea diseminaciones en el sentido estricto (cristales o agregados dispersos), ya cuerpos lenticulares (segregaciones o vetillas, en general intensamente deformadas, de dimensiones centimétricas a decimétricas), igualmente dispersos y generalmente orientados según la esquistosidad, es decir, replegados con planos axiales paralelos a la esquistosidad o transpuestos según dicho plano. Las diseminaciones, asimismo, se alinean paralelamente a la esquistosidad.

A escala mesoscópica (afloramiento en mina), el contenido de sulfuros permite diferenciar empíricamente dos tipos en los cloritoesquistos cuarzo-piríticos: *roca roja* (rica en pirita, con pátina pardo-rojiza por limonitización) y *roca azul* (más pobre en pirita, por lo que domina el color oscuro del esquisto). Estas rocas han sido cartografiadas, respectivamente, como *cloritoesquistos piríticos* y como *cloritoesquistos con pirita* (cf. figs. 3 y 4). Su estudio microscópico muestra que la roca azul es rica en actinolita, epidota, albita, esfena, anatasa/leucoxeno y carbonato, además de clorita y cuarzo. La roja se compone esencialmente de clorita, cuarzo y pirita (calcopirita, esfalerita, etc.), con los demás componentes citados subordinados a ausentes, lo que corresponde a una diferenciación metasomática más acusada del protolito, según se ha discutido.

Las composiciones mineralógicas de las menas son similares a las del nivel masivo. Existen generaciones pre-, sin- y post-deformación, caracterizadas por texturas similares a las ya descritas. No obstante, los fenómenos de presión-disolución y de transferencia por disolución (Lám. 2.4) son aquí mucho más ostensibles, favorecidos sin duda por el contraste mecánico entre el encajante, más dúctil, y la pirita, más rígida, así como por la mayor disponibilidad de fluidos acuosos en las litologías filosilicatadas.

En síntesis, por lo que respecta al encajante puede decirse que: la concentración de sulfuros se relaciona con la diferenciación cuarzo clorítica; la mineralización sulfurada es pre-tectónica y está fuertemente deformada; calcopirita tiene un comportamiento dúctil, pirita y esfalerita reaccionan rígidamente y se deforman por cataclasis y por mecanismos de presión - disolución - reprecipitación generalizados; los fenómenos de movilización tienen un alcance muy limitado en el espacio; la geometría original, definida por diseminaciones y vetillas sobre un protolito basáltico de fondo oceánico alterado, puede reconocerse todavía y corresponde, abstracción hecha de la laminación tectónica, a la zona de raíz -*stockwerk* o

stringer zone- característica de las concentraciones de sulfuros masivos volcano-sedimentarios (VMS).

En Mina Maruxa, la imposibilidad de observación directa es una seria limitación para el estudio de estas mineralizaciones, que se apoya únicamente en muestras de escombrera. Éstas, aunque escasas, son paradigmáticamente las más singulares, dentro de un marco general común con las otras mineralizaciones (estructura, encajante, morfología y tipología del yacimiento, procesos de deformación, composición esencial de las fases sulfuradas, etc.). Son de notar las siguientes peculiaridades: la gran riqueza en magnetita y/o hematites, en algunas de las muestras estudiadas (sobre todo del encajante, con estilpnomelana); la frecuente presencia de linneita (esencialmente cobaltífera, con Cu y Ni subordinados, según revelan los análisis por Microsonda Electrónica; Lám. 2.6). Asimismo, el zonado (Ti-V) de hematites y la presencia de rutilo anómalo catodoluminiscente (con Ca), confirmados por la misma técnica. Además, se observa una notable variedad textural, tanto para las fases sulfuradas como para el encajante: coexisten texturas similares a las hasta ahora consideradas (esquistosas y cataclásticas a ultramiloníticas), con texturas granoblásticas y decusadas o grano-diablásticas (Lám. 2.5), o bien metasomáticas, que indican procesos exclusivos de este yacimiento. En conjunto, los datos de Maruxa sugieren episodios de metamorfismo de contacto -con composiciones y texturas similares a las de algunas típicas menas de skarn-, superpuestos a los hasta ahora observados, responsables de la mineralización de sulfuros masivos.

Composiciones Modales

Se han seleccionado muestras representativas, en lo posible, de las menas cupríferas de los tres grupos mineros: Piquito II, A Barqueira y Maruxa. Una vez segmentadas las fases minerales de interés (pirita, calcopirita, esfalerita/hematites, ganga), se ha procedido a la adquisición sistemática (barrido) y, luego, a la cuantificación de las áreas respectivas, para obtener los correspondientes análisis modales (% volumen), utilizando el programa de *Análisis Digital de Imagen* Aphelion, sobre equipo Leica Laborlux.

Los análisis modales obtenidos (Castroviejo, 2001) muestran que se trata de menas ricas en calcopirita en todos los casos, con contenidos modales de 12 a 20% en Piquito II, 9 a 13% en Barqueira y 18% en Maruxa. Los valores de esfalerita son escasos (<0,5%), excepto en Barqueira -puede superar el 4%- , mientras que los de pirita suelen oscilar entre el 50 y

el 60%, excepto en la muestra de Maruxa (1,5%, con 20% de hematites en su lugar).

Desde los puntos de vista minero y metalogenético, debe advertirse que los contenidos (ponderales) de sulfuros son todavía más elevados, toda vez que la corrección por densidades reduce la proporción de ganga aproximadamente a la mitad. No obstante, estos análisis no representan el conjunto del yacimiento, que contiene sectores no económicos. Corresponden, más bien, a zonas bien mineralizadas, que por su riqueza han sido objeto de explotación preferente.

Consideraciones geotermométricas

Aunque entre las fases sulfuradas no se han encontrado asociaciones que, por sí mismas, puedan usarse como termómetros geológicos -cubanita y pirrotina son excesivamente escasas-, las observaciones texturales sí permiten obtener informaciones útiles al respecto.

De los trabajos experimentales realizados sobre la deformación de la pirita (Cox et al., 1981), se deduce que, contra lo que tradicionalmente se pensaba (Atkinson, 1975), este mineral puede llegar a mostrar un comportamiento dúctil, superado un cierto umbral de presión y temperatura (*transición frágil-dúctil de la pirita*). En las condiciones del experimento (Cox et al., 1981), esta transición tiene lugar hacia los 450°C. No obstante, según reconocen los propios autores, en condiciones naturales tiene que producirse a temperaturas más bajas. Las elevadas presiones diferenciales y velocidades de deformación utilizadas (*strain rates* del orden de 10^{-4} a 10^{-5} s⁻¹, superiores en unos 10 órdenes de magnitud a las concebibles en condiciones geológicas) no resultan realistas y obligan a una considerable reducción de dicha temperatura (Etheridge, 1983; Marshall & Gilligan, 1987). No se han publicado todavía resultados experimentales definitivos que satisfagan condiciones análogas a las reales para dichas variables, pero los publicados (McClay & Ellis, 1983 a y b) sitúan dicho umbral por debajo de 400°C o incluso en torno a 300°C (a 4 Kb de presión confinante). Recientes observaciones texturales de detalle (p. ej., Boyle et al., 1998), con técnicas como *electron-backscatter diffraction* o *forescatter orientation-contrast imaging*, confirman la realidad de estos mecanismos de deformación. En cualquier caso, es un hecho cierto que 450°C representa un techo que supera ampliamente el umbral más alto posible, en condiciones geológicas, para dicha transición.

Por otra parte, experimentos análogos -Clark & Kelly, 1973; Kelly & Clark, 1975; Cox *et al.*, 1981; Clark *et al.*, 1977; Roscoe, 1975; Graf & Skinner, 1970; Stanton & Gorman, 1968, entre otros- con otros sulfuros han permitido constatar comportamientos diferenciales, también controlados por las condiciones de P y T. De ellos resulta que las curvas de umbral final de resistencia de calcopirita y esfalerita, gracias al cambio de pendiente de la primera a partir de los 200°C, se cortan hacia los 325°C (fig. 8, Marshall & Gilligan, 1987). Es decir, la calcopirita supera la transición frágil-dúctil y se comporta plásticamente desde los 325°C, mientras que la esfalerita mantiene todavía un comportamiento frágil por encima de esta temperatura. Hay, a la derecha del punto de intersección (fig. 8), un intervalo de temperaturas, por encima de la curva Cp (calcopirita) y bajo la curva Sp (esfalerita), en el que el comportamiento de ambos minerales mantiene esta diferencia, hasta sobrepasar la intersección con la curva Sp, a partir de la cual también la esfalerita sería dúctil.

Teniendo en cuenta el comportamiento observado para los tres sulfuros en este estudio -frágil para pirita y esfalerita, dúctil para calcopirita-, se puede deducir que los dos primeros no han alcanzado la transición frágil-dúctil, pero el tercero sí. En consecuencia, puede estimarse un rango geotermométrico, para las condiciones del metamorfismo dinámico, situado entre 325 y 350°C.

Geoquímica

Los análisis químicos (Cu, Pb, Zn, Au, Ag, As) realiza-

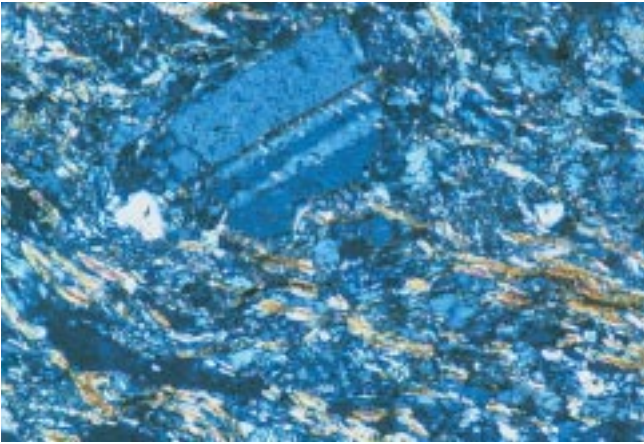
dos sobre el nivel masivo y sobre el encajante clorítico con sulfuros diseminados de la Mina Piquito II, la única en que todavía han sido posibles desmuestres con unas mínimas garantías de representatividad, proporcionan los datos básicos sobre los que se apoya la interpretación geoquímica de las mineralizaciones. Los resultados elaborados se presentan en la tabla 2.

La caracterización fundamental de las mineralizaciones se apoya en los contenidos de metales comunes (no féreos, Cu, Zn y Pb), cuyas proporciones, reflejadas en el diagrama ternario Cu-Zn-Pb (figura 9), muestran una clara alineación a lo largo del eje Cu-Zn (grupo Zn-Cu de Lydon, 1988). Esta distribución es idéntica a la que se observa, por ejemplo, en el conjunto de 90 yacimientos volcanogénicos de sulfuros masivos del Abitibi Belt (Canadá) y de las Caledónides de Noruega recopilados por dicho autor (*ibid.*), como base para la definición del grupo. El claro predominio de Cu sobre Zn en Piquito sugiere un parentesco con los depósitos del tipo Troodos (Chipre) o antiguo "tipo Cu" (Hutchinson, 1973), hoy incorporado a la clase Zn-Cu por Lydon (1988). Lo mismo ocurre en los yacimientos de sulfuros masivos análogos, aunque metamorfizados en más alto grado, del complejo de Órdenes, como Arinteiro y Bama, Santiago de Compostela, con relaciones Cu/Zn ~9,6 y contenidos de Pb prácticamente nulos (<5 ppb; según datos de Williams, 1983).

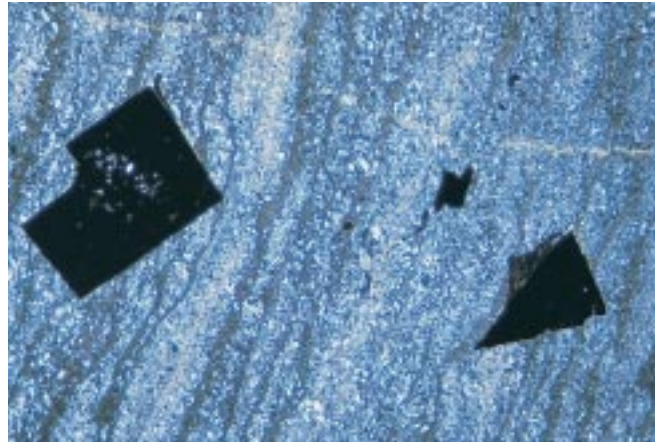
Por otra parte, la distribución de frecuencias de los cocientes Zn/Zn+Pb (figura 10) los afilia al tipo Cu-Zn (Lydon, 1988), confirmando la caracterización precedente, frente a yacimientos como los de la Faja Pirítica Ibérica o los del grupo Kuroko (Japón), los

Lámina 2: Fotomicrografías con luz transmitida (LT) o reflejada (LR) de muestras de las minas Piquito II (P), Barqueira (B) y Maruxa (M). **2.1.** Fenoblasto de albita, cuya generación metamórfica está atestiguada por las inclusiones de sericita paralelas a la esquistosidad externa S₂. Cloritoesquistos cuarzo-pirítico. P (LT, NX, obj. 20 X); **2.2.** Idioblastos de pirita post-tectónica en ultramylonita cuarzo-clorítica. P (LT, NX, estereomicroscopio, obj. 0,63 X); **2.3.** Microclastos de pirita corroídos por calcopirita, en metapirita cuprífera cataclástica. Blastesis previa del idioblasto central evidenciada por zonado poikiloblástico relicto (inclusiones de calcopirita, esfalerita, magnetita), paralelo a las caras cúbicas (100), las cuales se aprecian todavía en tres de los lados del grano, a pesar de la cataclasis y posterior corrosión. P (LR, Obj. 20 X, inmersión aceite, N//); **2.4.** Blastesis de pirita post-tectónica (blanca), por disolución-precipitación, en ultramylonita clorítica cuarzo-pirítica (masa gris): microclasto de pirita -contorno redondeado, con corona de inclusiones de ganga- como núcleo de cristalización del idioblasto superior; diversos restos de pirita previa, porosa o con contornos irregulares corroídos, incluidos en el idioblasto inferior. P (LR, Obj. 10X, N//); **2.5.** Entramado, con textura decusada, de hematites (laminillas, color gris claro), con espacios intersticiales ocupados por calcita (gris) y calcopirita (amarilla) granoblásticas. M (LR, Obj. 5X, N//); **2.6.** Inclusión idiopoikiloblástica de linneíta (crema), con inclusiones de galena y calcopirita y corrosión marginal, en masa granoblástica de calcopirita (amarilla). M (LR, Obj. 20X inmersión, N//)

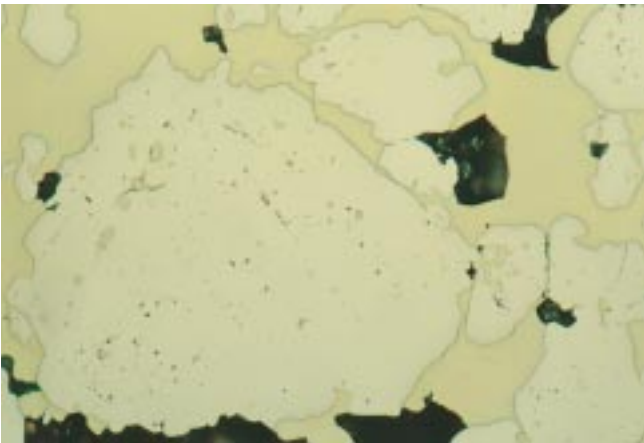
Plate 2: Photomicrographs of ore and wall rock samples from the Piquito II (P), Barqueira (B), and Maruxa (M) mines. (TL or RL: transmitted or reflected light, resp.; XP or PP: crossed or parallel polars, resp; OM: objective magnification): 2.1. Albite phenoblast, with sericite inclusions parallel to the S₂ schistosity, in quartz-pyrite chlorite schist. P (TL, XP, OM 20 X); 2.2. Post-tectonic pyrite idioblasts in quartz-chlorite ultramylonite. P (TL, XP, stereomicroscope, OM 0,63 X); 2.3. Pyrite microclasts corroded by chalcopyrite, in copper-rich cataclastic metapyrite. Relict poikiloblastic zoning in central clast. P (RL, PP, OM 20 X, oil immersion); 2.4. Post-tectonic pyrite idioblasts in quartz-pyrite chlorite ultramylonite, grown by solution transfer and precipitation around older microclastic or corroded pyrite nuclei (upper and lower idioblasts, resp.). P (RL, PP, OM 10X); 2.5. Undeformed hematite-chalcopyrite ore, with decussate texture: chalcopyrite and chalcite crystallize in interstitial spaces between hematite plates. M (RL, PP, OM 5X); 2.6. Idiopoikiloblast of linneite (cream coloured, with galena and chalcopyrite inclusions), partially corroded, in granoblastic groundmass of chalcopyrite. M (RL, PP, OM 20X, oil immersion)



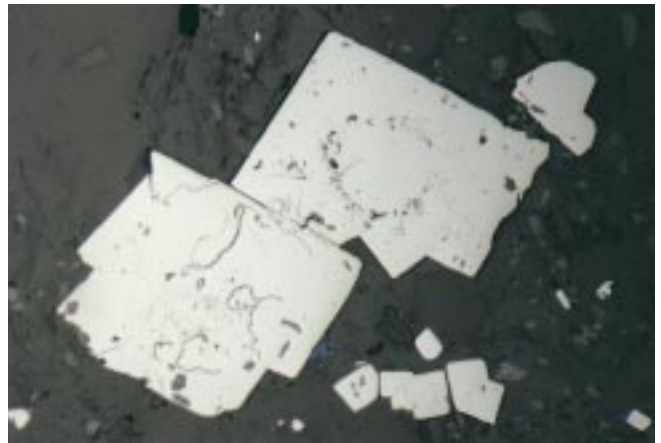
2.1



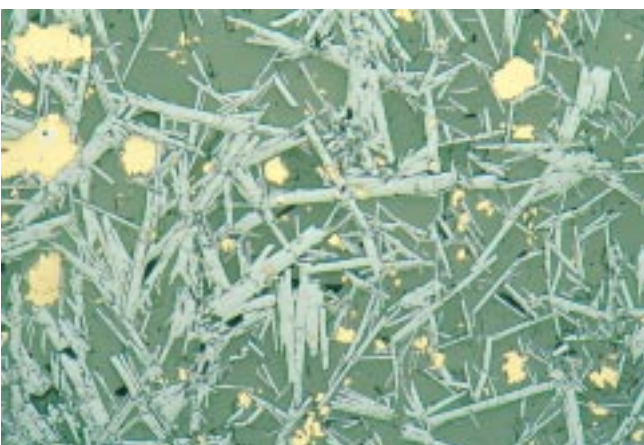
2.2



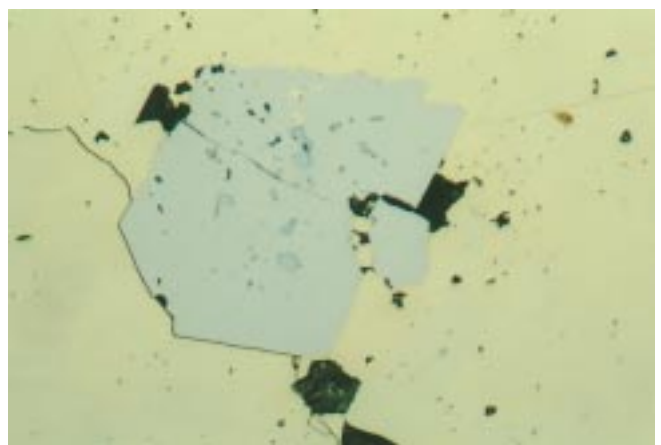
2.3



2.4



2.5



2.6

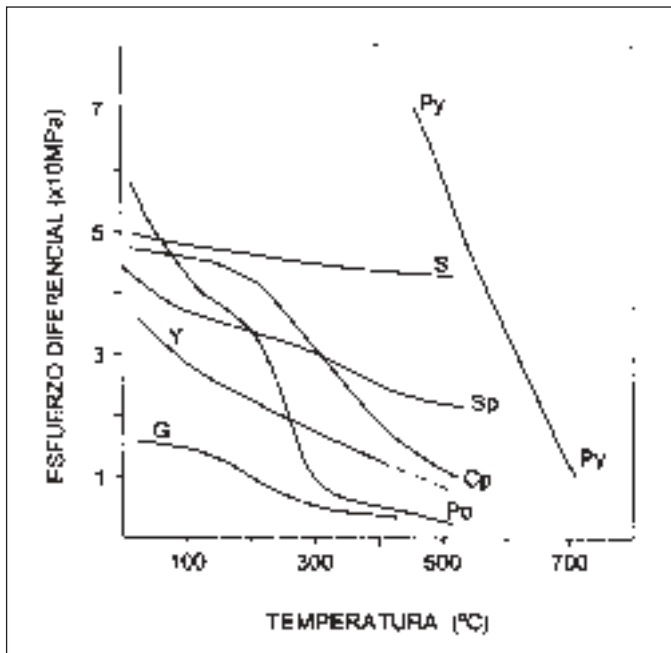


Fig. 8. Umbral final de resistencia (*ultimate strength*) o resistencia a 10% de deformación (*strength at 10% strain*) de sulfuros comunes, en función del esfuerzo diferencial y temperatura, a presiones confinantes y velocidades de deformación similares. G=galena, Po=pirrotina, Sp=esfalerita, Cp=calcopirita, Py=pirita, Y=mármol de Yule, S=caliza de Solenhofen. (Modificada de Marshall y Gilligan, 1987)

Fig. 8. *Ultimate strength of common sulphides compared with some common rocks, as a function of differential stress and temperature (G=galena, Po=pyrrhotite, Sp=sphalerite, Cp=chalcopyrite, Py=pyrit, Y=Yule marble, S=Solenhofen limestone), after Marshall and Gilligan (1987)*

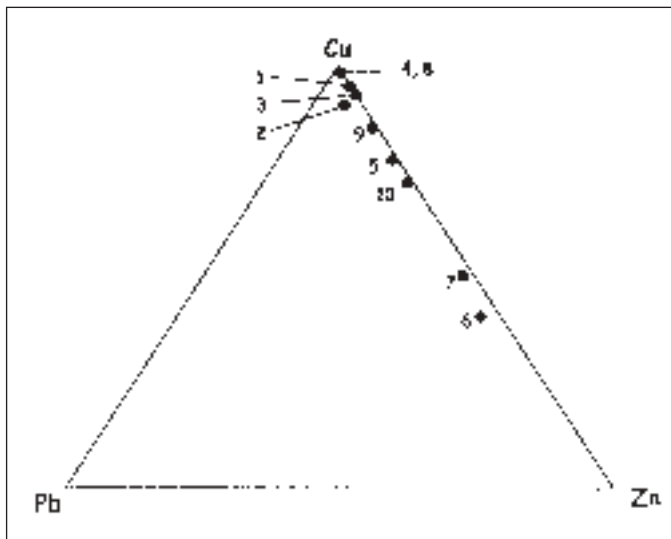


Fig. 9. Diagrama ternario Cu-Zn-Pb correspondiente a los análisis de mineralizaciones de la Mina Piquito II (los números se corresponden con las muestras de la Tabla 2)

Fig. 9. *Ternary plot of Cu-Zn-Pb contents of massive sulphides, Piquito II mine (numbers relate to samples in Table 2)*

cuales se integran en el tipo Zn-Pb-Cu, por sus valores más bajos de dicho cociente (0,7-0,8, *ibid.*). En cambio, ha de notarse de nuevo la similitud con los citados yacimientos de Arinteiro y Bama, con cociente $Zn/Zn+Pb > 0,98$ (calculado a partir de datos de Williams, 1983).

Asimismo, los relativamente elevados cocientes Au/Ag, cuyos valores oscilan entre 2 y $5,3 \times 10^{-2}$ -media aritmética 3×10^{-2} -, son similares a los de las concentraciones características de dicho tipo Cu-Zn, como las ya citadas del Abitibi Belt ($2,5 \times 10^{-2}$), mientras que los cocientes Au/Ag documentados para el tipo Zn-Pb-Cu son más bajos (por ejemplo, Bathurst, N.B, Canada: $0,8 \times 10^{-2}$, Green Tuff Belt, Japón: $0,95 \times 10^{-2}$), según los datos de leyes y tonelajes publicados (Lydon, 1988). La figura 11 muestra la correlación positiva Au-As; con respecto a la Ag, dicha relación es mucho menos significativa. Por último, la representación de la composición isotópica del azufre total, en función del cociente Cu/Cu+Zn medio (figura 12), coincide con la caracterización precedente.

En suma, desde un punto de vista geoquímico, las concentraciones sulfuradas estudiadas muestran claras analogías con un grupo de importantes y bien caracterizados yacimientos de sulfuros masivos volcano-sedimentarios (*VMS* o *Volcanogenic Massive Sulphides*), el grupo Cu-Zn (Lydon, 1988), y se diferencian tanto de las concentraciones VMS tipo Zn-Pb-Cu como de los tipos Pb-Zn "en sedimentos" o *Sedex*. El grupo Cu-Zn, habitualmente asociado a rocas máficas y asimilable al *tipo máfico* (Barrie & Hannington, 1999), es el característico de contextos ofiolíticos (de ahí el antiguo "tipo Cu" o Chipre, hoy integrado en el grupo Cu-Zn). Según se verá, hay otros criterios adicionales acerca de la filiación ofiolítica de las concentraciones sulfuradas objeto de estudio.

Estudio de inclusiones fluidas (IF)

Las formaciones estudiadas plantean, en principio, problemas muy difíciles para la investigación de IF, al añadir a la complejidad de la evolución metamórfica la ubicuidad de una intensa deformación que supone un fuerte riesgo para la supervivencia de inclusiones primarias. El estudio previo de Petrografía de IF, sobre muestras de las Minas Piquito II y Barqueira², muestra que lo que puede esperarse en este caso del estudio microtermométrico es, esencialmente, infor-

² Para más información acerca del estudio IF, cf. Castroviejo (2001).

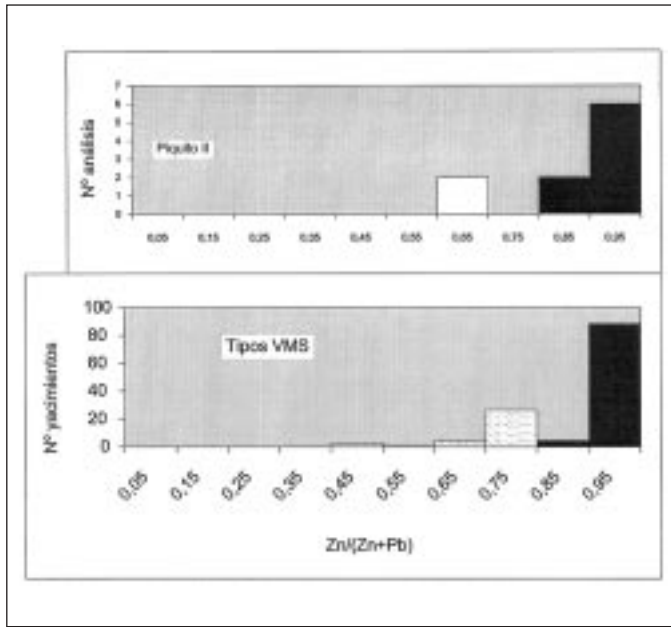


Fig. 10. Histogramas comparados de los cocientes Zn/(Zn+Pb) en distintos yacimientos VMS mundiales (según Lydon, 1988, grupos: Cu-Zn, distribución con moda 0,9-1; Zn-Pb-Cu, *id.* 0,7-0,8) y en las concentraciones estudiadas (Piquito II). Se han destacado en negro los valores del grupo Cu-Zn a escala mundial (gráfico inferior) y los valores dominantes en Piquito II

Fig. 10. Comparison of Zn/(Zn+Pb) ratios of VMS deposits in the world (after Lydon, 1988; Cu-Zn group: distribution with mode 0,9-1; Zn-Pb-Cu group: mode 0,7-0,8), and in the Piquito II mine. Enhanced (in black) are the values of the Cu-Zn group at world scale (lower histogram) and those most typical of Piquito II (upper histogram)

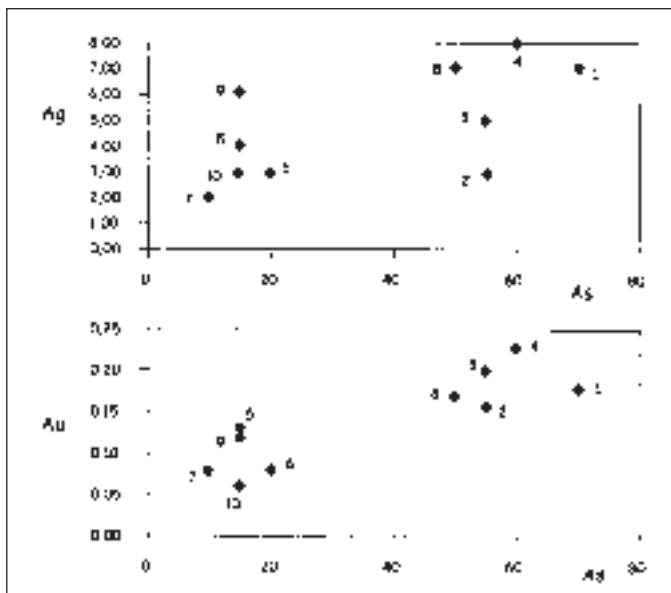


Fig. 11. Diagramas binarios Au-As y Ag-As (Mina Piquito II, valores en ppm)

Fig. 11. Binary plots of Au-As and Ag-As contents (ppm) in the Piquito II ores

mación acerca de los procesos metamórficos (post-mineralización) y, particularmente, de los fluidos presentes durante los episodios de deformación. En efecto, las relaciones petrográficas muestran que las únicas IF que pueden ofrecer información microtermométrica útil son: o bien secundarias, particularmente las familias o haces (*H*) de IF alojadas en microclastos o lenticulas de cuarzo, sellando microfisuras de tensión transversales a la esquistosidad principal; o bien metamórficas (aisladas).

Sobre cuarzos de las muestras seleccionadas (Minas Piquito II y Barqueira), se han determinado, con platina térmica *FluidInc (Mod. USGS)*, los valores de la temperatura de homogeneización total (T_h) y de la temperatura de fusión del hielo (T_{fw}). Así como el carácter (L_w : homogeneización al estado líquido y fluidos acuosos en todos los casos) y la tasa de relleno (o *degree of fill*, $F = L:L+V$, casi siempre en torno a 0,8). A partir de estos datos se han calculado la salinidad equivalente (% en peso NaCl equiv) y la posición de las isocoras (según Zhang y Frantz, 1987). Los resultados (Castroviejo, 2001) son, en general, coherentes, teniendo en cuenta la historia geológica de estas rocas, particularmente para Piquito II y para los valores de H_T (haces o familias de IF en microfracturas de tensión) e i (inclusiones aisladas). En la Mina Piquito II, los valores más representativos para H_T se sitúan en torno a los 210°C de T_h y a los -5° a -6°C de T_{fw} (\approx 8 a 9% en peso NaCl equiv), con valores similares para i ($T_h \approx 211^\circ\text{C}$; $T_{fw} \approx -5,4^\circ\text{C}$; $\approx 8,4\%$ en peso NaCl equiv). En A Barqueira, las medidas son en general más cuestionables, por las dificultades de observación (deformación, IF muy pequeñas), pero las escasas H_T que se han podido medir sugieren valores comparables, si bien algo menores, para T_h (190°C) y salinidades, en general, más bajas, con $T_{fw} \approx -0,8^\circ\text{C}$ (% en peso NaCl equiv $\approx 1,4\%$).

Las isocoras representativas resultan muy coherentes en todas las familias de inclusiones fluidas (FIF) del tipo H_T e incluso en las i (fluidos metamórficos) de Piquito II (P en figura 13), así como en las H_T de Barqueira (B, figura 13). Por lo que respecta a las condiciones originales (P y T de captura) de los fluidos, la coincidencia entre los resultados de Piquito II para H_T y para i sugiere que las condiciones del metamorfismo dinámico coinciden con las del regional de facies esquistos verdes. El geobarómetro de Brown (% de crossita en el anfíbol cálcico de los esquistos verdes) da una estimación de 2 Kb para la presión (Arenas, 1988), que podría representar, en todo caso, un valor mínimo. A este valor corresponde, según las isocoras calculadas, una temperatura en torno a los 335°C (entre 320 y 340° para Piquito II, 310° para

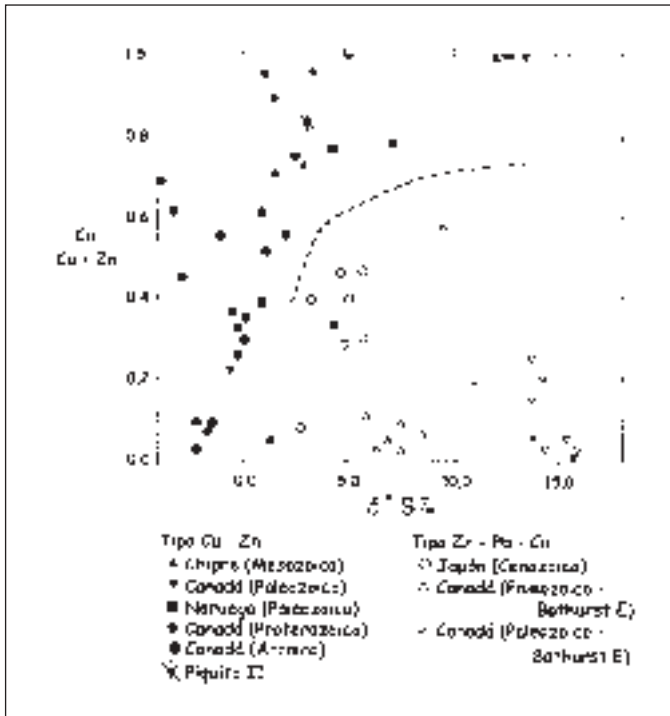


Fig. 12. Mean isotopic values for S as a function of the Cu/(Cu+Zn) ratio from VMS deposits in the world and in Piquito II (pointed *), allowing distinction of the Cu-Zn and Zn-Pb-Cu groups, both fields being separated by the broken line (after Lydon, 1988)

Barqueira: Figura 13). Las condiciones de deformación de los sulfuros, por otra parte, suponen para las temperaturas un techo de 450°C (transición frágil-dúctil de la pirita), techo probablemente distante de las condiciones reales, que en todo caso habrían superado los 300°, según se ha expuesto. Ello conduce a un rango de 325 a 350°C, al que corresponderían, según las isocoras (Figura 13), presiones en torno a 2-2,5 Kb, que se consideran, en tanto no se disponga de valores geotermométricos más precisos, como una estimación razonable de las condiciones reales.

Analisis isotópicos

Se dispone de resultados preliminares que sitúan, por sus valores $\delta^{34}\text{S}$, los yacimientos estudiados en el rango de los yacimientos tipo Chipre (o tipo Cu-Zn, Lydon, 1988; fig. 12) y los diferencian de otras concentraciones en terrenos metamórficos, con contex-

tos similares, en la región (filones, zonas de cizalla, etc). En efecto, los valores isotópicos $\delta^{34}\text{S}$ de la pirita de las minas de la Unidad de Moeche (Castroviejo, 2001) muestran una distribución característica, con un rango relativamente restringido ($\delta^{34}\text{S}$ de -0,6 a +4,5‰) y una media $\delta^{34}\text{S}=2,5‰$, que no parece haber sido alterada significativamente por el metamorfismo. Este aspecto se tratará con más profundidad en un trabajo en preparación.

Discusión y génesis

Las formaciones sulfuradas de la Unidad de Moeche, metapirititas y cloritoesquistos cuarzo-piríticos más o menos diferenciados y, en general, intensamente deformados son, evidentemente, metamórficas, en el sentido de que han sufrido metamorfismo, pero no puede atribuirse a éste su génesis. Todas las evidencias apuntan a formaciones exhalativas submarinas o volcanogénicas de sulfuros masivos (VMS), integrantes de una serie ofiolítica posteriormente metamorfizada.

Las relaciones de campo y el análisis geométrico y estructural excluyen una génesis metamórfica de los niveles masivos, sugiriendo por el contrario la transposición tectónica de cuerpos estratiformes preexistentes y de sus zonas de raíz (*stockwerk*). La caracterización geoquímica y mineralógica demuestra afinidades muy claras y constantes con formaciones VMS del tipo Cu-Zn y, dentro de éstas, del tipo Cu (Chipre), en detrimento de otras hipótesis, como la de formaciones sulfuradas en rocas puramente sedimentarias o *Sedex*, así como de las típicas concentraciones Ni-Cu asociadas a rocas máficas intrusivas; hipótesis, esta última, por otra parte difícil de conciliar, tanto con la mineralogía observada de las menas -sólo hay trazas de minerales portadores de Ni y ninguna especie propiamente niquelífera- como con los datos hoy conocidos del marco geológico (*cf.* referencias citadas en la Introducción). Además, es también de notar la similitud con yacimientos de sulfuros masivos del complejo de Órdenes como los de Arinteiro, Bama, Fornás o Manoca (Santiago de Compostela), para los que se ha propuesto una interpretación análoga (Badham and Williams, 1981; Williams, 1983), a pesar de las evidentes diferencias en grado metamórfico y, consecuentemente, en la mineralogía y texturas de las menas metálicas. Otras características que se corresponden también con el modelo ofiolítico son el modesto tamaño de los cuerpos individuales (<1mt, probablemente) y su espaciamiento (entre 2 y 5 km aproximadamente, fig. 1), que

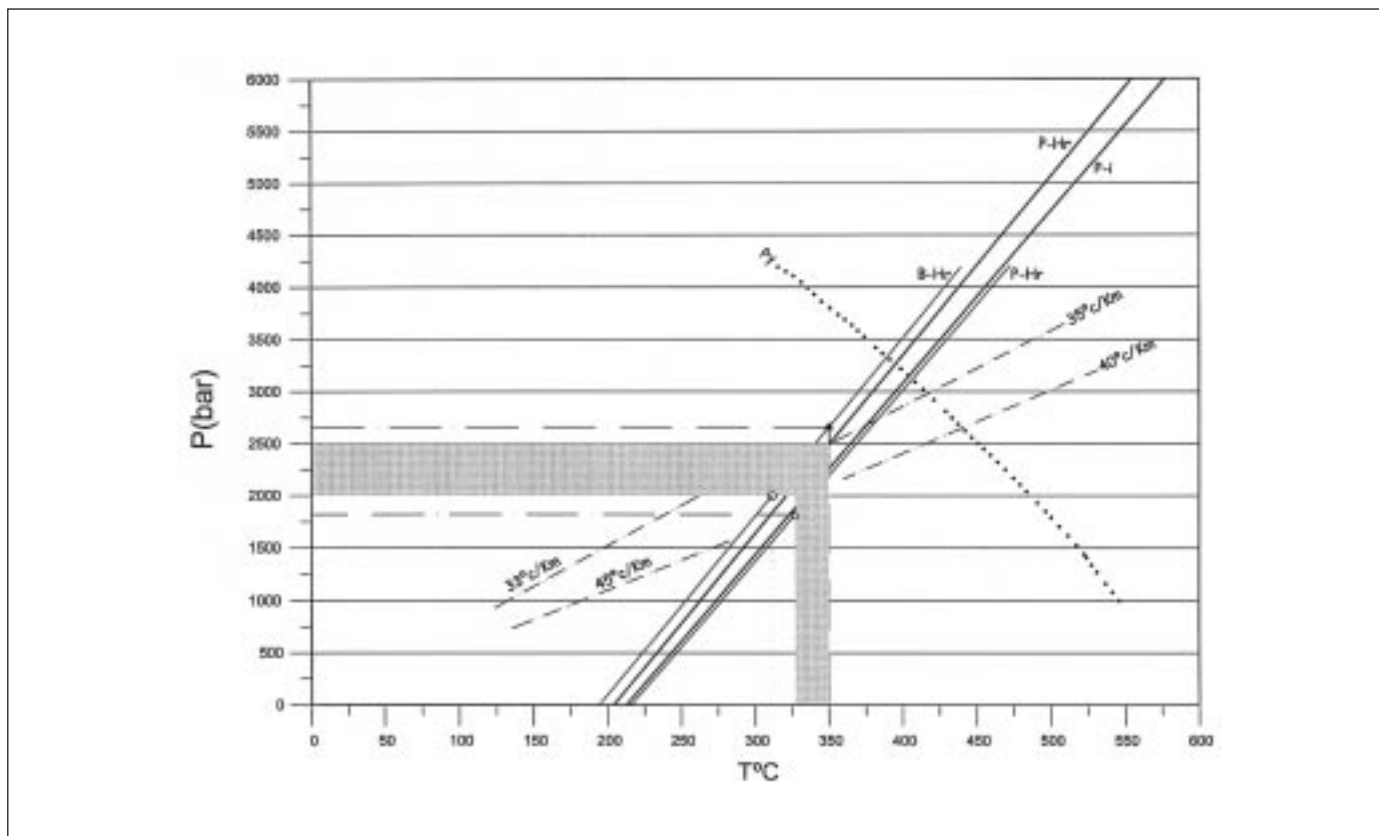


Fig. 13. Determinación de valores P y T de fluidos metamórficos, sobre isocoras representativas de Piquito II (P: inclusiones tipo H_r , i , cf. texto) y de Barqueira (B: inclusiones tipo H_r), a partir de geobarómetro (2 Kb) y de geotermómetro (325-350°C) independientes (cf. Texto). La zona sombreada (coincidencia de valores) limita el rango estimado entre 2/2,5 Kb y 325-350° C. La curva P_y representa el techo máximo para la transición frágil-dúctil de la pirita (Cox et al., 1981). Se muestra también el abanico de valores calculados para el gradiente geotérmico, resultando un rango probable entre 35 y 40°C/km (valor geobárico supuesto: 25 MPa/km)

Fig. 13. Determination of P-T values for the metamorphic fluids, using isochores calculated from measures of fluid inclusions in samples from the Piquito II and Barqueira mines, compared with independent geobarometric (2 kb) and geothermometric (325-350°C) estimations, as discussed in the text. The area for which both values fall together (shaded) corresponds to a P-T estimation of 2-2,5 kb and 325-350°C. The line labelled P_y shows the uppermost limit of the brittle-ductile transition for pyrite (Cox et al., 1981). Possible values for the geothermal gradient are also shown, the most likely ones lying between 35 and 40°C/km, for a geobaric value assumed at 25 MPa/km. Piquito II (isochores labelled P): fluid inclusions of the types H_r , i ; Barqueira (B): fluid inclusions of the type H_r (see text for explanation)

refleja las dimensiones de las celdas convectivas conocidas en dorsales actuales.

No obstante, hay algunos aspectos que todavía deben ser explicados:

El Stockwerk

En primer lugar, no se han identificado con precisión las típicas zonas de alteración hidrotermal en la base de los sulfuros masivos, aunque sí se observan probables vestigios de las mismas, como cloritoesquistos piríticos (*roca roja*) o cuarzo-piríticos (*roca azul*), con geometrías dislocadas o transpuestas. A ello se añade una probable obliteración por el ubicuo y muy pronunciado metamorfismo ulterior, sobre todo

teniendo en cuenta que los resultados de estos procesos pueden ser mineralógicamente idénticos: clorita, cuarzo, sulfuros, que precisamente abundan en las zonas mineralizadas; la impronta final de metamorfismo dinámico impide una diferenciación textural de ambas generaciones. Por otra parte, algunas de las litologías más diferenciadas encontradas (p.ej. epidotitas, clorititas) han sido reconocidas en otros distritos VMS, particularmente ofiolíticos, como relictos de hidrotermalitas (precisamente características de la zona de raíz o *feeder*; Galley & Koski, 1999; Gibson et al., 1999). Todo ello permite suponer, con una base razonable³, que el *stockwerk* está representado por

³ A confirmar por estudios litogeoquímicos en curso.

los actuales cloritoesquistos cuarzo-piríticos y que los sulfuros masivos de Piquito II o Barqueira, por ejemplo, habrán tenido un origen proximal.

Estratigrafía

Los datos petrológicos, mineralógicos y geoquímicos expuestos hasta el presente exigen un replanteamiento de la estratigrafía aparente observada en Piquito II (fig. 3). En efecto, identificado el *stockwerk* o zona de raíz como el nivel de cloritoesquistos situado a techo del nivel masivo, ha de pensarse que la serie está invertida. Lo mismo se ha constatado en Sulitjelma (Boyle, 1987), distrito de origen análogo, en las Caledónides de Noruega. Por otra parte, sólo así es explicable la posición de los metasedimentos (filitas) a muro de dicho nivel. De esta forma adquiere coherencia el conjunto y, además, se explica por qué los metasedimentos son totalmente estériles y están, esencialmente, inalterados: la deposición de las correspondientes lutitas y arenitas tuvo lugar sobre las formaciones volcánicas, cuando ya lo esencial de la actividad exhalativa se había terminado, lo que se corresponde con una típica evolución de los modelos conocidos de yacimientos exhalativos volcano-sedimentarios (VMS).

Las deformaciones ligadas al posterior metamorfismo dinámico, relacionado con los cabalgamientos hercínicos, habrían invertido el conjunto en la zona de Piquito II, causando también dislocaciones e imbricaciones entre las diferentes unidades y estructuras más complejas, además de una patente laminación tectónica generalizada y una transposición de la estratificación sedimentaria.

Mina Maruxa

Algunos rasgos difieren de la caracterización general y apuntan, más bien, a procesos de metamorfismo térmico-metasomático, mostrando marcadas similitudes con algunas concentraciones metálicas de tipo *skarn*. No hay datos precisos para valorar la importancia relativa de estos procesos en el conjunto de mineralizaciones de Maruxa. La única información disponible sobre esta mina (PNAMPM, 1982) habla de una "banda de pirita cuprífera", con unos 2 m de potencia y orientación N30°E, 10°NO (próxima a la de Piquito II), explotada a lo largo de 550 m por cámaras y pilares. Ello sugiere que la mineralización era esencialmente de tipo masivo, estratiforme y similar al nivel masivo de Piquito II, por lo que el papel de

dichos procesos parece haber sido poco relevante cuantitativamente, pero en todo caso se trataría efectivamente de concentraciones metamorfogénicas, epigenéticas sobre las volcano-sedimentarias hasta ahora discutidas.

Dada la falta de datos cartográficos y la total ausencia de afloramientos, no es posible establecer con precisión el origen de los eventos térmicos. Las texturas indeformadas observadas sugieren episodios tardíos, explicables por algún dique o cuerpo intrusivo no aflorante. No obstante, tampoco puede descartarse rotundamente la posibilidad de eventos previos, incluso en el fondo oceánico o en el gabro o complejo de diques subyacentes, si se recuerda que la cizalla tiende a concentrarse en bandas estrechas, entre las cuales subsisten rocas menos deformadas.

Conclusiones

De acuerdo con la literatura citada, la Unidad de Moeche representa litologías de fondo oceánico que corresponden al techo de una unidad ofiolítica obducida sobre el margen continental de Gondwana (actual NO del Macizo Ibérico), intensamente deformada, dislocada y metamorfozada, durante el proceso de colisión hercínica. Esta interpretación es también coherente con las observaciones realizadas en el presente trabajo. El metamorfismo de dicha unidad en facies esquistos verdes -clorita, actinolita, albita, cuarzo, epidota/clinozoisita, titanita y sulfuros son los minerales más frecuentes-, predominantemente dinámico, contrasta con los grados más elevados (meso/catazonales) de las unidades del Complejo de Cabo Ortegal cartografiadas al Oeste (U. Superior) y al Este (U. Somozas), de las que está separada por cabalgamientos.

La Unidad de Moeche se compone esencialmente de cloritoesquistos (metabasitas), con metasedimentos filíticos subordinados y con diferenciaciones de cloritoesquistos cuarzo-piríticos, que constituyen el encajante de la mineralización; en algunas zonas afloran masas importantes de serpentinitas. Aunque el desmantelamiento erosivo del conjunto y la naturaleza de los contactos, casi siempre tectónicos, impiden observar las relaciones estratigráficas originales, puede inferirse la sección típica de una serie ofiolítica (Arenas, 1988), en cuyo techo (estratigráfico) se presentan las mineralizaciones sulfuradas.

Éstas pueden caracterizarse como concentraciones exhalativas volcano-sedimentarias o VMS del grupo Cu-Zn (Lydon, 1988), intensamente deformadas y metamorfozadas en facies esquistos verdes.

Coexisten niveles de sulfuros masivos, de potencias decimétricas a métricas y superficies del orden de dimensiones 0,1-1 km², con diseminaciones y vetillas o cuerpos lenticulares (cm a dm) en las rocas verdes. La mineralogía es relativamente simple: pirita y calcopirita son los sulfuros más frecuentes, con esfalerita muy subordinada y escasas galena, pirrotina, marcasita, hematites, magnetita, etc., aunque en una mina (Maruxa) hay composiciones excepcionales: magnetita, estilpnomelana y hematites pueden ser muy abundantes, linneita frecuente, etc. Existen numerosos yacimientos análogos, afectados por distintos grados metamórficos, desde Troodos (Chipre, apenas modificado) hasta Suljitelma (Noruega) o los más cercanos del Complejo de Órdenes, cerca de Santiago de Compostela (Fornás, Arinteiro, Bama), en facies anfibolitas.

La geometría original está, en general, transpuesta por la intensa laminación tectónica o por la esquistosidad milonítica. Contribuye a ello la abundante actividad hidrotermal, con fenómenos de transferencia por disolución muy notables sobre pirita, la cual, a diferencia de calcopirita, no ha superado la transición frágil-dúctil. En Piquito II la estratigrafía original está invertida; en Barqueira, verticalizada e intensamente deformada por episodios tardíos; en Maruxa se observan fenómenos térmico-metasomáticos superpuestos que modifican parcialmente las texturas y producen asociaciones de skarn locales. Pero en todos los casos -y, en general, en los demás indicios de la Unidad de Moeche- puede reconstruirse la geometría original típica de los depósitos volcano-sedimentarios citados, con una zona de raíz (*stockwerk*) y otra exhalativa estratiforme, representadas por las diseminaciones y el nivel masivo de meta-piritita, respectivamente. Los datos geológicos, petrológicos, mineralógicos, geoquímicos, isotópicos y estructurales obtenidos coinciden en esta interpretación, que implica un modelo genético similar al de las mineralizaciones actualmente en formación en fondos oceánicos, en relación con la circulación hidrotermal submarina y su descarga en *black smokers*, bien documentadas por investigaciones recientes. El espaciado observado entre los distintos grupos mineros (fig. 1) refleja las dimensiones originales de las celdas convectivas en la corteza oceánica, más o menos dislocadas por la deformación hercínica.

Los únicos fluidos que actualmente pueden estudiarse son los relacionados con el metamorfismo y deformación hercínicos. La petrografía y microtermometría de inclusiones fluidas indica fluidos acuosos, densos ($F \sim 0,8$), moderadamente salinos ($\sim 8\%$ en peso NaCl equiv), en los que no se han observado

vestigios de CO₂, con temperaturas de homogeneización total de $\sim 200-225^\circ\text{C}$, resultando condiciones de captura estimadas sobre las isocoras en $325-350^\circ\text{C}$ y 2 a 2,5 kb, que se consideran representativas de las temperaturas y presiones metamórficas (epizonales).

Finalmente, en cuanto a la exploración minera, se constata que las mineralizaciones cupríferas difícilmente podrían tener interés económico, en las condiciones de la minería actual del cobre. Como ocurre en general con las concentraciones sulfuradas en dorsales oceánicas actuales, los tonelajes son modestos (orden de dimensiones 0,1-1 mt), aunque se han medido leyes elevadas localmente (hasta 10 a 30% modal de calcopirita). No obstante, los datos presentados ponen de manifiesto la existencia de varios metalotectos de interés para la exploración de metales preciosos, oro y, particularmente, elementos del grupo del platino (EGP), condicionados por la movilidad de estos metales en fluidos hidrotermales ligados al metamorfismo dinámico. Su presencia es conocida en litologías ultramáficas de la Unidad Superior (Monterrubio et al., 1992; Moreno et al., 2001).

Agradecimientos

Los autores agradecen a los Profs. R. Arenas (UCM) y J.R. Martínez Catalán (U. Salamanca) la información geológica facilitada; al Dr. Santiago del Barrio (Jefe del Departamento de Mineralurgia, IGME) la preparación mecánica de muestras y ensayos de flotación de sulfuros para los análisis isotópicos de azufre (realizados en el Laboratorio de Isótopos Estables, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, bajo la dirección del Prof. Clemente Recio); a los Dres. J. A. Martín Rubí (Laboratorio Tres Cantos, IGME) y H. J. Bernhardt, *Zentralelektrodenmikroskopielaboratorium, Ruhr Universität Bochum* (Alemania), los análisis realizados por DRX y microsonda electrónica, respectivamente; a J. García Bellés, a E. Coz y a J. Riaza, la colaboración en el tratamiento digital de imágenes y del texto. Se agradece igualmente la colaboración de la Dirección de Minas/Consellería de Industria de la Xunta de Galicia para la visita a las minas estudiadas y su desmuestre. Y la de la Dra. T. Moreno (Univ. Cardiff, RU) y otro supervisor anónimo, por sus comentarios y aportaciones a la mejora del texto. La instrumentación utilizada ha sido financiada con ayuda de los proyectos GR92-0135, UE95-0007 y UE98-0027 del Ministerio de Educación y Cultura (MEC), España y Proyecto FEDER de la UE (1999).

Referencias

- Abati, J., Dunning, G.R., Arenas, R., Díaz García, F., González Cuadra, P., Martínez Catalán, J.R., Andonaegui, P. 1999. *Early Ordovician orogenic event in Galicia (NW Spain): evidence from U-Pb ages in the uppermost unit of the Ordenes Complex*. Earth and Planetary Science Letters 165 (1999) 213-228.
- Arenas, R. 1983. *Milonitización y Retrometamorfismo en los Cizallamientos del Macizo Básico/Ultrabásico Alóctono de Cabo Ortegal (Cadena Hercínica Ibérica, NO de España)*. Estudios geol., 39, p. 31-39.
- Arenas, R. 1988. *Evolución petrológica y geoquímica de la unidad alóctona inferior del complejo metamórfico básico-ultrabásico de Cabo Ortegal Unidad de Moeche y del Silúrico paraautoctono, Cadena Hercínica Ibérica NO de España*. Corpus Geologicum Gallaeciae, 4, 543 p.
- Arenas, R. 1991. *Opposite P, T, t paths of Hercynian metamorphism between the upper units of the Cabo Ortegal Complex and their substratum (NW of the Iberian Massif)*. Tectonophysics 191, p. 347-394.
- Arenas, R., Gil Iburguchi, J.I., González Lodeiro, F., Ckein, E., Martínez Catalán, J.R., Orgega Gironés, E., Pablo Maciá, J.G. de y Peinado, M. 1986. *Tectonostratigraphic Units in the Complexes with Mafic and Related Rocks of the NW of the Iberian Massif*. Hercynica, 1986-II, 2, p. 87-110.
- Arenas, R., Rubio Pascual, F.J., Díaz García, F. y Martínez Catalán, J.R. 1995. *High-pressure micro-inclusions and development of an inverted metamorphic gradient in the Santiago Schists (Ordenes Complex, NW Iberian Massif, Spain): evidence of subduction and syncollisional decompression*. J. Metamorphic Geol., 1995, vol. 13, 141-164.
- Arenas, R., Abati, J., Martínez Catalán, J.R., Díaz García, F. y Rubio Pascual, F.J. 1997. *P-T evolution of eclogites from the Agualada Unit (Ordenes Complex, northwest Iberian Massif, Spain): Implications for crustal subduction*. Lithos 40 (1997), p. 221-242.
- Arenas et al. 2000. *Structure and evolution of the Ordenes Complex*. Basement Tectonics 15, Pre-Conference Field Trip. A Coruña, Spain, 159 p.
- Atkinson, B.K. 1975. *Experimental deformation of polycrystalline pyrite: Effects of temperature, confining pressure, strain rate, and porosity*. Econ. Geol., 70, p. 473-487.
- Barrie, C.T. y Hannington, M.D. 1999. *Classification of Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits based on Host-Rock Composition*. Rev. in Econ. Geol., v. 8, pp. 1-11.
- Bayer, R. y Matte, P. 1979. *Is the mafic/ultramafic massif of Cabo Ortegal a nappe emplaced during a Variscan obduction? A new gravity interpretation*. Tectonophysics, v. 57, p. T9-T18.
- Badham, J.P.N. y Williams, P.J. 1981. *Genetic and Exploration Models for Sulfide Ores in Metaophiolites, Northwest Spain*. Econ. Geol., 76, p. 2118-2127.
- Boyle, A.P. 1987. *A model for stratigraphic and metamorphic inversions at Sulitjelma, Central Scandes*. Geol. Mag. 124 (5), 1987, p. 451-466.
- Boyle, A.P., Prior, D.J., Banham, M.H. y Timms, N.E. 1998. *Plastic deformation of metamorphic pyrite: new evidence from electron-backscatter diffraction and foreshorter orientation-contrast imaging*. Mineralium Deposita (1998), 34, p. 71-81.
- Brown, E.H. 1977. *The crossite content of Ca-amphibole as a guide to Pressure of metamorphism*. Jour. Petrol. 18, 1, p. 53-72.
- Castroviejo, R. 1988. *Estudio microscópico y microanálisis con Microscopio Electrónico de Barrido de mineralizaciones óxido-sulfuradas del Complejo Ofiolítico de Cabo Ortegal*. Inf. Adaro S.A./ETSIM-RCB-O3a y -04a.
- Castroviejo, R. 2001. *Génesis y metamorfismo de concentraciones sulfuradas (Fe, Cu, Zn, MP) en metabasitas de la Unidad de Moeche (Complejo de Cabo Ortegal)*. Proyecto Investigación de Metalotectos EGP y Ofiolitas en Iberoamérica. Programa CYTED, Minist. Ciencia y Tecnología, 212 pp. + láminas y planos.
- Clark, B.R. y Kelly, W.C. 1973. *Sulfide Deformation Studies. I Experimental Deformation of Pyrrhotite and Sphalerite to 2000 Bars and 500°C*. Economic Geology, 68, p. 332-352.
- Clark, B.R., Price, F.R. y Kelly W.C. 1977. *Effects of annealing on deformations textures in Galena*. Beiträge zur Mineralogie und Petrologie, 64, p.149-165.
- Cox, S.F., Etheridge M.A. y Hobbs, B.E. 1981. *The Experimental Ductile Deformation of Polycrystalline and Single Crystal Pyrite*. Econ. Geol. 76, p. 2105-2117.
- Dallmeyer, R.D., Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Gil Iburguchi, J.I., Gutiérrez Alonso, G., Farias, P., Bastida, F. y Aller, J. 1997. *Diachronous Variscan tectonothermal activity in the NW Iberian Massif: Evidence from ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of regional fabrics*. Tectonophysics 277 (1997) 307-337
- Díaz García, F., Arenas, R., Martínez Catalán, J.R. González del Tánago, J. y Dunning, G.R. 1999a. *Tectonic Evolution of the Careón Ophiolite (Northwest Spain): A Remnant of Oceanic Lithosphere in the Variscan Belt*. Journal of Geology, 1999, vol. 1107, p. 587-605
- Díaz García, F., Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., González Cuadra, P. 1999b. *Structural and kinematic analysis of the Corredoiras detachment: evidence for early Variscan synconvergent extension in the Ordenes Complex, NW Spain*. Int. Journ. Earth Sciences (1999) 88: 337-351
- Durney, D.W. 1972. *Solution transfer, an important geological deformation mechanism*. Nature, 235, p. 315-317.
- ENADIMSA 1984. *Investigación Minera por Cu en la Reserva Noroeste A, Area "Moeche-Ortigueira" (La Coruña)*. Primera Fase. Programa Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales (PNAMPM), Dirección General de Minas, Madrid, 1984.
- Engels, J.P. 1972. *The catazonal poly-metamorphic rocks of Cabo Ortegal (NW Spain), a structural and petrofabric study*. Leidse Geol. Meded., 48, p. 83-133.
- Etheridge, M.A. 1983. *Differential stress magnitudes during regional deformations and metamorphism: upper bound imposed by tensile fracturing*. Geology, 11, p. 231-234.

- Eugster, H.D., Albee, A.L., Bence, A.E., Thompson, J.B., Waldbaum, D.R. 1972. *The two-phase region and excess mixing properties of paragonite-muscovite crystalline solutions*. Jour. Petrol., 13, p. 147-149.
- Galley, A.G. y Koski, R.A. 1999. *Settlig and Characteristics of Ophiolite-hosted Volvanogenic Massive Sulfide Deposits*. Rev. Econ. Geology, v. 8, p. 221-246.
- Gibson, H., Morton, R.L. y Hudak, G.J. 1999. *Submarine Volcanic Processes, Deposits, and Environments favorable for the Location of Volcanic-associated Massive Sulfide Deposits*. Rev. Econ. Geology, v. 8, p. 13-52.
- Gil Iburguchi, J.I. y Arenas, R. 1990. *Metamorphic evolution of the Allochthonous Complexes from the Northwest of the Iberian Peninsula*. In: Pre-Mesozoic Geology of Iberia, R.D. Dallmeyer and E. Martínez García (edit.). Springer-Verlag, p. 237-246.
- Graf, J.K. y Skinner, B.J. 1970. *Strength and Deformation of Pyrite and Pyrrhotite*. Econ. Geol. 65, p. 206-215.
- Hutchinson, R.W. 1973. *Volcanogenic Sulfide Deposits and their Metallogenic Significance*. Econ. Geol. 68, 8, p. 1123-1246.
- IGME 1971. *Mapa Geológico de España (E. 1:200.000). Síntesis de la Cartografía Existente. Hoja 1: A Coruña*. Ed. IGME, Madrid.
- IGME 1976. *Mapa Geológico de España (E. 1:50.000). Hoja 7/6-3: Cedeira (Prov. de A Coruña)*. Ed. IGME, Madrid.
- IGME 1977. *Mapa Geológico de España (E. 1:50.000). Hoja 1/6-2. Cariño (Prov. de A Coruña)*. Ed. IGME, Madrid.
- IGME 1982. *Mapa Minero-Metalogenético de Galicia (E. 1:400.000)*. Ed. IGME, Madrid.
- Kelly, W.C. y Clark, B.R. 1975. *Sulfide deformation Studies: III. Experimental deformation of Chalcopyrite to 2000 bars and 500°C*. Econ. Geol. 70, p. 431-453.
- Ludon, J.W. 1988. *Volcanogenic Massive Sulphide Deposits. Part 1: A Descriptive Model. Part 2: Genetic Models*. Pp. 145-181, in: Roberts R. G. & Sheahan P. A. (1988) Ore Deposit Models, Geoscience Canada, Rep. Ser. 3, GAC, St. John's, Newfoundland, 194 p.
- Marshall, B. y Gilligan, L.B. 1987. *An introduction to remobilization: information from ore-body geometry and experimental considerations*. Ore Geol. Rev. 2, p. 87-131.
- Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Díaz García, F., Rubio Pascual, F.J., Abati, J. y Marquínez, J. 1996. *Variscan exhumation of a subducted Paleozoic continental margin: The basalt units of the Ordenes Complex, Galicia, NW Spain*. Tectonics, vol. 15, nº 1, p. 106-121.
- Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Díaz García, F. y Abati, J. (1997). *Variscan Accretionary complex of northwest Iberia: Terrane correlation and succession of tectono-thermal events*. Geology; v. 25; nº 12; p. 1103-1106; 3 figures.
- Martínez Catalán, J.R., Arenas, R., Díaz García, F. y Abati, J. 1999. *Allochthonous units in the variscan belt of NW Iberia*. A.K. Sinha (ed.), Basement Tectonics 13, 65-68. Kluwer Academic Publishers.
- McClay, K.R. y Ellis, P.G. 1983a. *Deformation and recrystallization of pyrite*. Miner. Mag. 47, pp. 527-538.
- McClay, K.R. y Ellis, P.G. 1983b. *Deformation of Pyrite*. Econ. Geol. 79, p. 400-403.
- Monterrubio, S., Lunar, R. y Oyarzun, R. 1992. *Mineralizaciones de cromo-platinoides y oro en los complejos polimetamórficos de Galicia*. Lab. Xeol. Laxe, serie Nova Terra, nº 7, O Castro (Coruña), 114 pp.
- Moreno, T., Gibbons, W., Prichard, H.M. y Lunar, R. 2001. *Platiniferous chromitite and the tectonic setting of ultramafic rocks in Cabo Ortegal, NW Spain*. Journal of the Geol. Soc., London, v. 158, pp. 601-614.
- Mottl, M.J. 1983. *Metabasalts, axial hot springs and the structure of hydrothermal systems at mid-ocean ridges*. Geological Society of America Bulletin, 94, p. 161-180.
- Plyusnina, L.P. 1982. *Geothermometry and geobarometry of Plagioclase-Hornblende bearing assemblages*. Contrib. Mineral. Petrol. 80, p. 140-160.
- PNAMPM 1982. *Propuesta de investigación minera por Cu, Area Moeche-Ortigueira (La Coruña)*. DGM/MINER, Madrid.
- Ramdohr, P. 1980. *The Ore Minerals and their Intergrowths*. (2nd Edn., 2 vols.). Pergamon Press, Oxford.
- Roscoe, W.E. 1975. *Experimental Deformation of Natural Chalcopyrite at Temperatures up to 300°C over the Strain Rate Range 10² to 10⁶ Sec⁻¹*. Econ. Geology, 70, p. 454-472.
- Sánchez Martínez, S., Arenas, R., Andonaegui, P., Martínez Catalán, J.R. 2003. *The Moeche and Purrido Ophiolites (Cabo Ortegal Complex): Geochemistry of two Oceanic Units involved in the Variscan suture of NW Spain*. Geophysical Research Abstracts, vol. 5. EAE03-A-02238.
- Stanton, R.L. y Gorman, H. 1968. *A phenomological study of grain boundary migration in some common sulfides*. Econ. Geology, 63, p. 907-923.
- Tex, E. Den. 1981. *Basement evolution in the northern Hesperian Massif. A preliminary survey of results obtained by the Leiden research Group*. Leidse Geol. Meded. 52, 1, pp. 1-21.
- Van Calsteren, P.W.C. 1977. *A mantle-plume-model interpretation for the Paleozoic geology of Galicia with emphasis on the Cabo Ortegal area (N.W. Spain)*. Proc. Konink. Neder. Akad., 80, p. 156-168.
- Van Calsteren, P.W.C., Boelrijk, N.A.J.M., Hebeda, E.H., Priem, H.N.A., Den Tex, E., Verdurmen, E.A.T.H. y Verschure, R.H. 1979. *Isotopic Dating of older elements (including the Cabo Ortegal mafic-ultramafic complex) in the hercynian orogen of NW Spain: manifestations of a presumed early paleozoic mantle-plume*. Chemical Geol., 24, p. 35-56.
- Van Der Meer Mohr, C.G. 1975. *The Palaeozoic strata near Moeche in Galkicia, NW Spain*. Leidse Geol. Meded., 49, p. 1-12.
- Van Overmeeren, R.A. 1975. *A gravity investigation of the catazonal rock complex at Cabo Ortegal (NW Spain)*. Tectonophysics, 26, p. 293-307.
- VARISCAN-APPALACHIAN DYNAMICS. 2000. *The building of the Upper Palaeozoic basement*. Basement Tectonics 15, A Coruña, Spain (Galicia 2000 Conference., 3 vols.: proc. & Field Trips).
- Vogel, D.E. 1967. *Petrology of an eclogite and pyrigarnite-bearing polymetamorphic rock complex at Cabo Ortegal, NW Spain*. Leidse Geol. Meded., 40, p. 121-213.

Williams, P.J. 1983. *The Genesis and Metamorphism of the Arinteiro-Bama Cu Deposits, Santiago de Compostela, Northwest Spain*. *Econ. Geol.*, 78, p. 1689-1700.

Zhang, Y.G. y Frantz, J.D. 1987. *Determination of the homogenization temperature and density of supercritical*

fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions. *Chem. Geol.*, 64, p. 335-350.

Recibido: Marzo 2002

Aceptado: Octubre 2003