

MINERIA

Estudio mineralógico y metalogénico de las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español)

Parte II

Por E. VINDEL (*)

RESUMEN

En este trabajo (Parte II) se estudian las características más importantes de las mineralizaciones filonianas de Cu, Pb-Zn, Ba y F de la Sierra de Guadarrama (provincias de Madrid y Segovia), y que corresponden con los siguientes grupos propuestos:

GRUPO IV: Filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn.

GRUPO V: Filones con sulfuros BPGC.

GRUPO VI: Filones con baritina.

Grupo VII: Filones de fluorita con galena.

Se analizan el ámbito encajante y los caracteres generales de las mineralizaciones (disposición, morfología), así como sus caracteres metalogénicos (paragénesis y sucesión mineral).

Posteriormente se estudian las alteraciones hidrotermales, la repartición de elementos metalogénicos y el control estructural de las mineralizaciones en su conjunto.

Por último, se establece el origen de las mineralizaciones. Se pone de manifiesto la existencia de una zonalidad a escala regional, normal, excéntrica y controlada por un gradiente térmico cuyo centro generador se sitúa cercano al plutón de La Cabrera.

SUMMARY

The main characteristics of Cu, Pb-Zn, Ba and F mineralizations of Guadarrama Mountains (Madrid and Segovia provinces) are studied in this paper (Part II).

This mineralizations corresponding with the following groups:

GROUP IV: Cu-Sn-Zn sulphide veins.

GROUP V: Sph-Py-Gal-Chalc sulphide veins.

GROUP VI: Barytes veins.

GROUP VII: Fluorspar-Galena veins.

In the first part, the nature of wall rock and the main characteristics of this mineralizations are examined here (morphology, mineral aptitude), as well as the metallogenic aspects; paragenesis and mineral sequence.

In the second part, the host rocks hidrothermal alterations, the geochemical distribution of metallogenic elements, and the structural control of mineralizations are studied too.

Finally, the ore genesis is proposed, and is evident a normal eccentric zoning (regional scale). The zoning is controlled by thermic gradient which generating focus is placed near to «La Cabrera» batholit.

1. INTRODUCCION

En el trabajo previo a éste se han estudiado las mineralizaciones filonianas de más alta temperatura de la Sierra de Guadarrama (grupos I, II y III de la clasificación propuesta). En este estudio se exponen las características de las mineralizaciones de temperatura media (grupo IV) y

baja (grupos V, VI y VII), así como las alteraciones hidrotermales, repartición de elementos metalogénicos, zonalidad y origen de las mineralizaciones filonianas estudiadas en su conjunto.

2. MINERALIZACIONES FILONIANAS DE TEMPERATURA MEDIA

Las asociaciones mineralógicas del grupo IV (filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn), así como la

presencia de ciertas texturas de desmezcla, indican que estas mineralizaciones se han depositado a temperatura media.

2.1. Grupo IV: Filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn

Se han reconocido los siguientes filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn (tabla I):

TABLA I

Término	Coordenadas	Hoja topográfica 1:50.000
Garganta de los Montes ...	40° 54' 55" N 0° 01' 04" W	484
Lozoyuela	40° 56' 23" N 0° 03' 12" W	484
El Cuadrón	40° 56' 35" N 0° 01' 41" W	484
San Rafael	40° 43' 50" N 0° 31' 00" W	507
Colmenar Viejo	40° 42' 31" N 0° 02' 41" W	509
Galapagar	40° 35' 30" N 0° 18' 00" W	533
Galapagar	40° 34' 50" N 0° 17' 18" W	533
Valdemorillo	40° 30' 05" N 0° 20' 25" W	533
Valdemorillo	40° 30' 55" N 0° 20' 15" W	533
Colmenarejo	40° 31' 40" N 0° 18' 30" W	533

Todas estas minas se encuentran actualmente inactivas y en la mayoría de los casos el acceso a los filones es impracticable. Por ello sólo ha sido posible encontrar muestras de la mena en las mineralizaciones de Garganta de los Montes, Lozoyuela, San Rafael y Colmenarejo. Se trata de pequeñas explotaciones subterráneas, que se llevaron a cabo mediante pozos y galerías. Las condiciones actuales de observación son muy deficientes, por estar gran parte de las labores cubiertas por escombreras. El muestreo se ha realizado en estas escombreras.

No se ha podido medir dirección, buzamiento y potencia del filón más que en Colmenarejo (N70°E/subvertical y 1 m. de potencia) y Valdemorillo (N165°E/45°S y 1 m. de potencia).

En San Rafael se encuentran dos grupos mineros: «El Estepar» y «Cabeza Reina». El primero

está situado sobre el monte del Estepar, en la margen izquierda del río Gudillos, entre los kilómetros 63 y 66 de la carretera San Rafael-Segovia (Hoja 507, El Espinar). El segundo se sitúa sobre el cerro de Cabeza Reina, en la margen derecha del río Gudillos, entre los kilómetros 60 y 63 de la carretera Madrid-La Coruña (Hoja 508, Cercedilla).

Las muestras estudiadas corresponden al grupo minero «El Estepar», que es prolongación del grupo minero «Cabeza Reina».

Todas estas mineralizaciones se explotaron por cobre. Sin embargo, se ha citado la presencia de uranio asociado al cobre en Colmenarejo (MUÑOZ DEL CASTILLO, 1905 a y b), en San Rafael (FERNÁNDEZ NAVARRO, 1905; MUÑOZ DEL CASTILLO y RETAMAL MARTÍN, 1905; MUÑOZ DEL CASTILLO, 1906; PÉREZ, 1920, y PÉREZ SÁNCHEZ, 1933), en Galapagar (ALDAMA, 1860) y en Torreledones (MUÑOZ DEL CASTILLO, 1904).

Naturaleza de la roca encajante

Los filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn se localizan en rocas graníticas y metamórficas. Los primeros (Colmenarejo y San Rafael) encajan en adamellitas biotíticas de grano medio, similares a las descritas para otros grupos de filones.

La roca encajante del filón de Lozoyuela es un gneis glandular, caracterizado por la presencia de fenocristales de ortosa con pertitas en venas orientadas. A veces presenta un borde albitizado de poco desarrollo. Estos fenocristales están englobados en una matriz compuesta por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa subordinada, biotita, sillimanita, algo de moscovita y cordierita pinnitizada. Como accesorios aparecen apatito, circón y opacos. La biotita se encuentra parcialmente alterada a clorita. Durante la clorización se ha generado feldespato potásico, siguiendo las líneas de exfoliación de la biotita (Reacción de Chayes).

El filón de Garganta de los Montes encaja en un gneis migmatítico cuarzo-feldespático. La foliación, mal definida, está constituida por biotita y sillimanita. Como minerales secundarios se encuentran clorita y moscovita, formadas a expensas de la biotita, y como accesorios apatito, circón y opacos.

(*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

Mineralización: Descripción

Tipo: «Garganta de los Montes».

Minerales Hipogénicos: CALCOPIRITA, BLENDA, CASITERITA, Estannina, Arsenopirita, Pirita, Bismutina, Bismuto, Cubanita.

Minerales Supergénicos: Marcasita, Covellina, Goethita.

Minerales de la ganga: CUARZO, Moscovita, Clorita.

Particularidades:

Colmenarejo: Ausencia de estannina y presencia de neodigenita.

Lozoyuela: Ausencia de blenda y casiterita.

San Rafael: Ausencia de calcopirita y presencia de calcosina como mayoritaria.

CALCOPIRITA: Como ya se ha visto anteriormente en otros filones de la Sierra de Guadarrama, se pueden diferenciar dos generaciones de calcopirita:

- Una primera calcopirita, CpI, en «gotas» redondeadas (textura de emulsión) (foto 1) o laminillas alargadas en la blenda. Las «gotas» redondeadas decrecen en tamaño hacia el borde de los granos y las alargadas contienen en su interior segregaciones lamelares de estannina (foto 1).
- La segunda generación de calcopirita, CpII, la constituyen masas irregulares que rodean e incluyen a los demás minerales. En el filón de Garganta de los Montes particularmente, la CpII presenta «estrellas» de blenda, que pueden interpretarse como producto de exsolución (RAMDOHR, 1969). De igual forma, esta calcopirita II presenta en los filones de Lozoyuela y Garganta de los Montes finas desmezclas de cubanita.

BLENDA: En la mineralización que se ha tomado como tipo, Garganta de los Montes, aparecen dos generaciones de blenda. Una primera, en granos redondeados, incluida en calcopirita II y anterior a ella, y otra segunda en forma de «estrellas», cuya formación es simultánea a la de esta calcopirita II. En los demás filones no se ha encontrado esta segunda generación de blen-

da. Hay que hacer notar la ausencia de blenda en el filón de Lozoyuela.

CASITERITA: La casiterita puede llegar a constituir un mineral principal en este tipo de filones. Aparece en granos redondeados, masas arriñonadas o cristales subaciculares (foto 2). A menudo

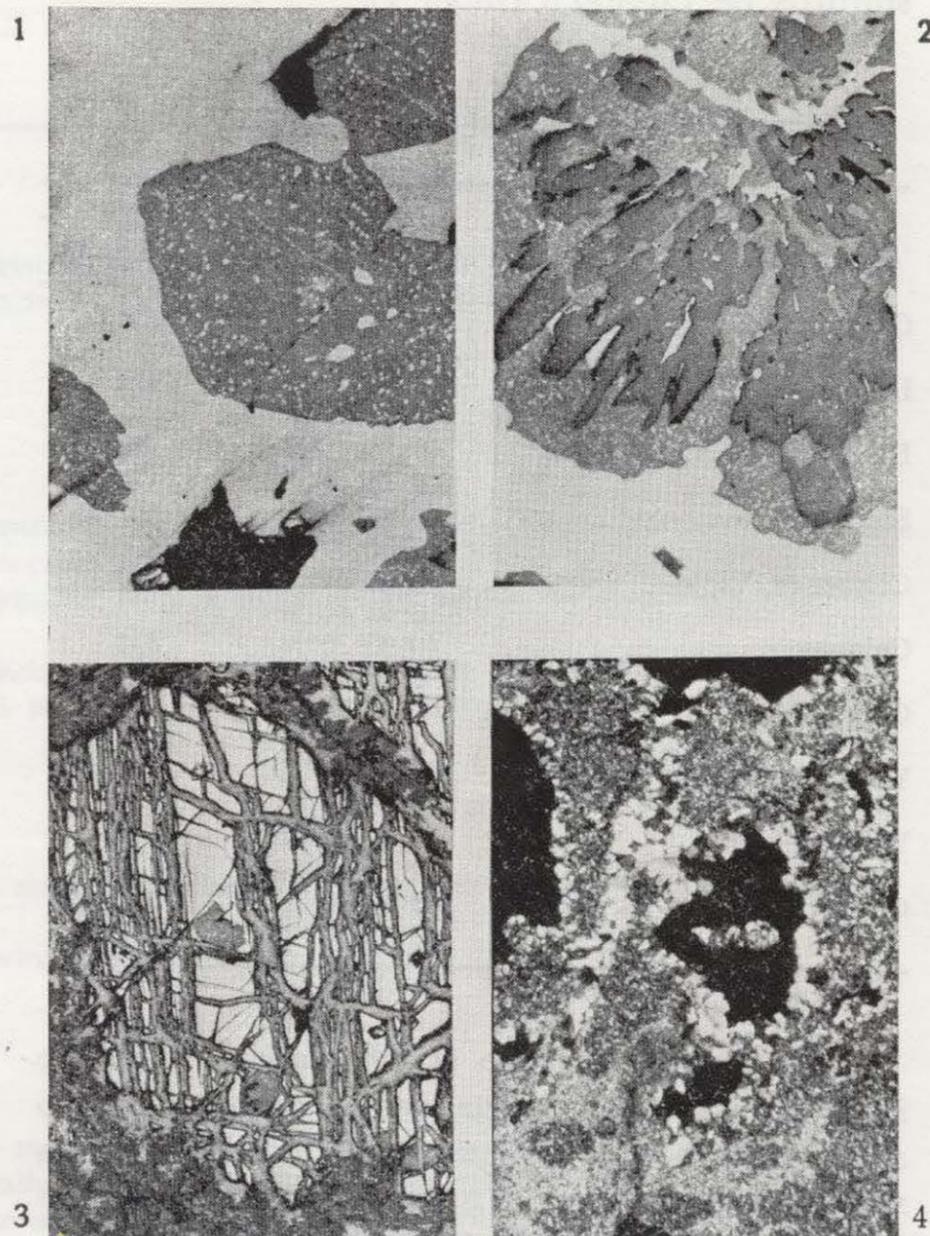


Foto 1.—«Gotas» y laminillas alargadas de calcopirita (blanco) en blenda (gris oscuro). Las laminillas contienen en su interior segregaciones de estannina (gris claro). L. Refl. LN \times 100, Inmersión.

Mineralización de Garganta de los Montes.

Foto 2.—Cristales subaciculares de casiterita (gris oscuro) en blenda (gris). La blenda contiene emulsiones de calcopirita (blanco). L. Refl. LN \times 100.

Mineralización de Garganta de los Montes.

Foto 3.—Pirita cataclástica (blanco) sustituida por calcosina (gris claro) y covellina (gris oscuro). Obsérvese en el centro un grano de blenda (gris) que sustituye también a la pirita. L. Refl. LN \times 100.

Mineralización de San Rafael.

Foto 4.—Cuarzo tardío, de segunda generación, rodeando en forma de coronas a la calcopirita. Asimismo, entre el cuarzo se observan agregados sericíticos. L. Transm. NC \times 30.

Mineralización de Lozoyuela.

presenta cataclasis y deformaciones y otras veces tendencia al idiomorfismo. Es frecuente su asociación con las micas que constituyen la ganga de la mineralización.

Estannina: Como ya se ha descrito anteriormente, en Garganta de los Montes la estannina se encuentra en forma de laminillas, incluidas en calcopirita I («gotas» o laminillas de calcopirita en blenda) (foto 1). Estas laminillas se pueden interpretar como un producto de exsolución de la calcopirita. Sin embargo, en el filón de Lozoyuela los granos redondeados de estannina incluidos en calcopirita, no presentan orientación preferente. No hay ningún criterio para interpretar estos granos como desmezclas.

Arsenopirita: Este mineral se encuentra únicamente en los filones de Garganta de los Montes y Lozoyuela. Aparece incluida en la calcopirita en forma de cristales con tendencia al idiomorfismo, dando buenas secciones rómbicas. Se trata posiblemente de uno de los primeros minerales en cristalizar. Su ausencia en Colmenarejo se debe probablemente a que las muestras estudiadas pertenecen a zonas más superficiales de los filones. A veces presenta una incipiente alteración a escorodita.

Pirita: Generalmente se presenta como mineral accesorio, en forma de granos redondeados incluidos en calcopirita. Sin embargo, en el yacimiento de San Rafael constituye el mineral principal. En esta mineralización la pirita se encuentra fuertemente brechificada según planos 100 (fracturas perpendiculares entre sí), aunque también existen fracturas irregulares que cortan a las otras direcciones según 120° (foto 3). Esta pirita se encuentra reemplazada en parte por blenda y sobre todo por calcosina, algo de covellina y goethita, preferentemente según direcciones estructurales de los cristales de pirita.

Bismutina y Bismuto: La bismutina constituye un mineral accesorio en este tipo de filones. Aparece incluida en la calcopirita y presenta en su interior granos extraordinariamente pequeños de bismuto nativo, que destacan por su elevada reflectividad. Una excepción la constituye el yacimiento de Lozoyuela. En él, tanto la bismutina como el bismuto nativo son minerales principales. Ambos minerales aparecen estrechamente intercrecidos, sustituyendo la bismutina al bismu-

to. Su deposición se ha realizado claramente a favor de fisuras en la calcopirita.

Cubanita: Se encuentra en forma de finas laminillas, a veces de destacado tamaño, en la calcopirita II. Esta textura se ha interpretado como un proceso de exsolución de cubanita en calcopirita. Este tipo de intercrecimientos se encuentra preferentemente en depósitos de temperatura media-alta y experimentalmente se ha comprobado que calentando por encima de 450° C la cubanita entra en solución sólida con la calcopirita (SCHWARTZ, 1927). Por encima de esta temperatura la calcopirita se encuentra como una modificación con estructura desordenada de alta temperatura (BUERGUER and BUERGUER, 1934). Al enfriarse la calcopirita se invierte a una forma desordenada de más baja temperatura y los átomos en exceso precipitan en forma de cubanita o calcopirrotina.

RAMDOHR (1928) encontró dos variedades de cubanita, una cubanita I, anisótropa, y otra cubanita II, isótropa. BORCHERT (1934) demostró que esta cubanita II está compuesta por un estrecho intercrecimiento de calcopirita y calcopirrotina. La forma de alta temperatura de la calcopirita se trata posiblemente de una solución sólida entre calcopirita y calcopirrotina. Enfriando esta solución sólida empieza a desmezclarse a 450° C y se obtiene la desmezcla completa alrededor de los 255° C. Por debajo de los 255° C la calcopirrotina se hace inestable y se transforma en cubanita. Por tanto, la temperatura de desmezcla de cubanita en calcopirita dada por SCHWARTZ (1927) es un poco alta y entraría dentro de unos límites más correctos aquella dada por BORCHERT (1934), que oscila alrededor de los 250° C.

Minerales supergénicos: La escasa *marcasita* que existe en este tipo de filones se ha formado a expensas de la pirita.

La neodigenita o calcosina azul isótropa sustituye a la calcopirita y en menor proporción a la blenda, estannina y bismutina. Este reemplazamiento se realiza a favor de fisuras y bordes de grano, constituyendo una textura típica de los procesos de enriquecimiento supergénico. Este reemplazamiento no está muy desarrollado en la mayoría de las mineralizaciones.

La neodigenita se dispone en la parte externa de las fisuras, sustituyendo a la calcopirita en

forma de finas «ramificaciones». Más internamente, aparece *covellina* en cristales plumosos, y en el centro de las fisuras se encuentra *goethita* con marcada textura coliforme. En la transformación de calcopirita a neodigenita y covellina el contenido en Fe de la calcopirita queda libre, precipitando en el centro de las fisuras en forma de $Fe(OH)_3$ o $FeOOH$ (OELSNER, 1965). En suma, se trata de un relleno de fisuras simétrico, típico de los yacimientos hidrotermales, con goethita y covellina en el centro y neodigenita en las partes más externas.

La *Calcosina* constituye el mineral principal del yacimiento de San Rafael. Se trata de una calcosina anisótropa («calcosina blanca» de RAMDOHR), y asociada a ella se encuentra covellina en forma de finos cristales plumosos. Aparece reemplazando a la pirita a favor de un sistema de fisuras que la atraviesa.

En el filón de Lozoyuela la bismutina y la arsenopirita se alteran, respectivamente, a bismutita y escorodita.

La *Goethita* y *Malaquita*, como ya se ha expuesto anteriormente, son minerales propios de la zona de oxidación de este tipo de filones. Ambos aparecen con texturas coliformes y en venas que atraviesan a la calcopirita y a la pirita, reemplazándolas. En muchas ocasiones los óxidos de hierro están compuestos por una mezcla de goethita y lepidocrocita, que sustituyen a la pirita.

Minerales de la ganga: La ganga de estas mineralizaciones está constituida principalmente por cuarzo y micas. Aparecen dos generaciones de cuarzo, una primera temprana, constituida por pequeños granos redondeados incluidos en la mena, y una segunda y principal de más baja temperatura y posterior a la mineralización, que forma coronas alrededor de ella (foto 4). Asimismo, aparecen agregados fibroso-radiados de clorita y sericita, cloritas vermiculares y moscovitas plumosas tardías.

Caracteres metalogénicos: Paragénesis y sucesión mineral

Se ha realizado un estudio en conjunto y comparativo de los esquemas de paragénesis y sucesión mineral (figs. 1, 2 y 3) de las mineralizacio-

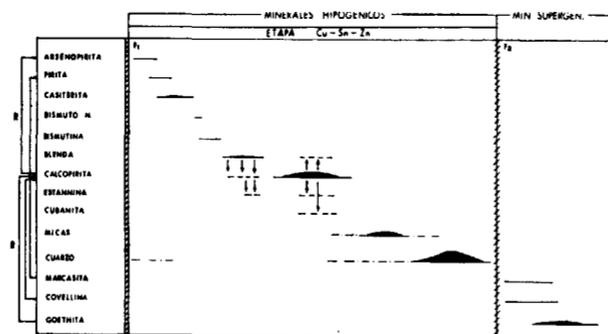


Figura 1.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Garganta de los Montes).

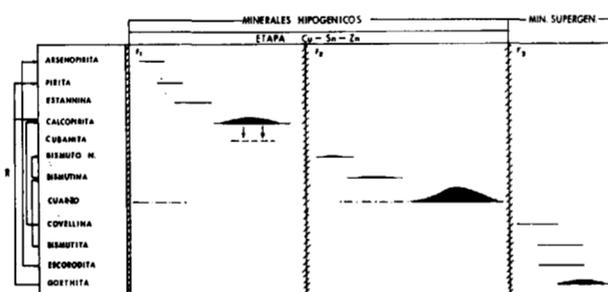


Figura 2.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Lozoyuela).

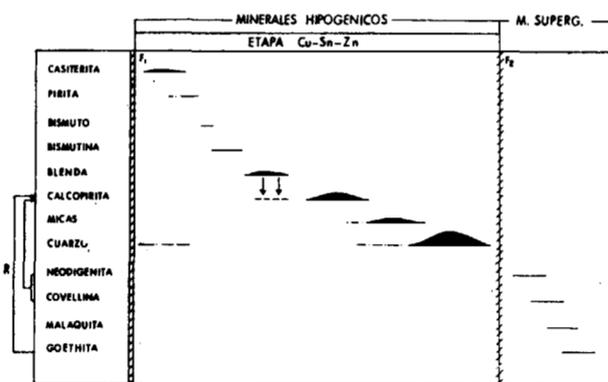


Figura 3.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Colmenarejo).

nes con sulfuros de Cu-Sn-Zn, por presentar todas ellas características semejantes. Una excepción la constituye el yacimiento de San Rafael, por lo que lo estudiaremos independientemente.

Del estudio de estos esquemas es posible deducir las siguientes conclusiones:

- La primera etapa de brechificación marca

el comienzo de la deposición, con la formación de arsenopirita y pirita en escasas cantidades,

La ausencia de estos minerales en Colmenarejo ya se ha explicado anteriormente. Se debe posiblemente a que las muestras estudiadas pertenecen a zonas más superficiales de los filones y estos minerales, debido a su carácter temprano, se encontrarían con preferencia en profundidad.

La deposición continúa con la formación de casiterita, bismuto y bismutina. En el filón de Lozoyuela el bismuto y la bismutina tienen un carácter más tardío, a la vez que su abundancia es mucho mayor.

- Posteriormente a la bismutina se deposita blenda, excepto en Lozoyuela, donde este mineral está ausente y en su lugar se ha depositado estannina. La blenda se desmezcila en pequeñas «gotas» de calcopirita y a veces en estannina.

- A continuación se deposita de forma mayoritaria la calcopirita, que es el mineral hipogénico predominante y el único reconocible a visu.

Simultáneamente a ella se producen exsoluciones de blenda y estannina (Garganta de los Montes) y de cubanita (Garganta de los Montes y Lozoyuela).

- Las micas y el cuarzo son los últimos minerales hipogénicos en depositarse. Su desaparición coincide con la etapa que señala el comienzo de la fase supergénica y de oxidación.

- Los minerales supergénicos aparecen como consecuencia de movimientos de reajuste, que favorecen la distribución de minerales secundarios en determinados niveles supergénicos. Su deposición se efectúa fundamentalmente a expensas del reemplazamiento de la calcopirita.

Aparecen también marcasita, bismutita y escorodita reemplazando a pirita, bismutina y arsenopirita, respectivamente.

Como se puede observar, los filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn presentan una secuencia de

deposición continua, interrumpida únicamente por la fase de brechificación F₂, a favor de la cual se distribuyen los minerales supergénicos. Una excepción es el yacimiento de Lozoyuela, en el que aparece otra fase de brechificación que interrumpe la deposición. A favor de ella se depositan el bismuto y la bismutina. Estos dos minerales aparecen en el filón de Lozoyuela rellenando fisuras en la calcopirita.

La mineralización de San Rafael (Grupo minero El Estepar) constituye un caso particular dentro de este tipo de filones. En primer lugar por su mineralogía, pues no se ha encontrado calcopirita, aunque su presencia ha sido citada en muchas ocasiones (PÉREZ, 1920; PÉREZ SÁNCHEZ, 1933; FERNÁNDEZ NAVARRO, 1905; CALDERÓN, 1910) y el mineral de Cu mayoritario es la calcosina.

La secuencia de deposición también presenta notables diferencias con los otros filones de Cu-Sn-Zn (fig. 4):

- El primer mineral en depositarse es la pirita, seguida de la blenda, por la cual es sustituida.

El cuarzo es el último mineral hipogénico en depositarse. La desaparición del cuarzo coincide con una fuerte etapa de brechificación F₂, que fractura intensamente la pirita.

- A favor de estas fisuras se produce un relleno y un reemplazamiento de los minerales hipogénicos por los supergénicos, calcosina y covellina.

Finalmente, se forman minerales de oxidación, goethita, lepidocrocita, malaquita.

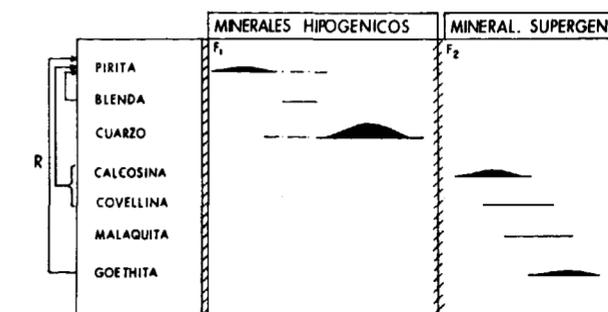


Figura 4.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (San Rafael).

3. MINERALIZACIONES FILONIANAS DE TEMPERATURA BAJA

3.1. Grupo V: Filones con sulfuros BPGC (Blenda-Pirita-Galena-Calcopirita)

Se han reconocido los siguientes filones (tabla II):

TABLA II

Término	Coordenadas	Hoja topográfica 1:50.000
Gargantilla del Lozoya	40° 57' 13"N 0° 01' 52"W	484
Canencia	40° 56' 29"N 0° 03' 03"W	484
Lozoya	40° 56' 34"N 0° 08' 57"W	484
Redueña	40° 49' 54"N 0° 05' 29"W	509
Guadalix de la Sierra (mina «Verdadera»)	40° 45' 33"N 0° 01' 14"W	509
Collado Mediano	40° 40' 20"N 0° 21' 26"W	508
Colmenar del Arroyo (minas de «Nuestro Padre Jesús»).	40° 25' 00"N 0° 32' 55"W	557

Todas estas mineralizaciones están actualmente inactivas y en muchos casos el acceso a las mismas es impracticable. Por tanto, sólo ha sido posible encontrar muestras en Gargantilla de Lozoya, Canencia, Collado Mediano y Colmenar del Arroyo. Se trata de explotaciones antiguas con uno o varios pozos alineados siguiendo la dirección del filón y escombreras pequeñas parcialmente arrasadas. En Redueña y Collado Mediano se realizaron calicatas y zanjas superficiales según la dirección filoniana.

La mina de «Nuestro Padre Jesús» en Colmenar del Arroyo fue la última que se abandonó en la zona, aproximadamente hace veinte años (comunicación verbal de antiguos mineros). Por ello aún conserva dos escombreras con cantidades considerables de mineralización.

Se han podido tomar medidas de dirección, buzamiento y potencia en la mayoría de las mineralizaciones (tabla III), aunque en varias de ellas el filón en superficie es estéril y está constituido tan sólo por baritina y cuarzo (Redueña, mina «Verdadera», de Guadalix de la Sierra).

Naturaleza de la roca encajante

Los filones con sulfuros BPGC situados al NE

TABLA III

	Dirección	Buzamiento	Potencia (metros)
Gargantilla del Lozoya.	N 60°E	50°S	1
Canencia	N 40°E	65°S	—
Redueña	N 50°E	62°N	—
Guadalix de la Sierra.	N 30°E	—	—
Collado Mediano	N 55°E	85°N	1,5
Colmenar del Arroyo ...	N100°E	55°N	0,4

de la zona de estudio (Gargantilla del Lozoya, Canencia) encajan en rocas metamórficas y los situados al SO de la zona (Colmenar del Arroyo, Collado Mediano) en rocas graníticas.

La roca encajante de los primeros son gneises migmatíticos y glandulares. Las glándulas (3 a 4 cm) son de feldespato potásico (ortosa o microclina) con pertitas en «films». Son frecuentes los intercrecimientos micrográficos de ortosa y cuarzo. La foliación está compuesta por biotita y sillimanita fibrosa, que está transformándose en moscovita. Asimismo, la cloritización de biotitas es un proceso generalizado, en el que se ha liberado cristales aciculares de rutilo y opacos. La moscovita es tardía y crece en continuidad con la biotita cloritizada. Es posible que la cloritización sea un paso intermedio en la moscovitización de biotitas.

La roca encajante de las mineralizaciones de Colmenar del Arroyo y Collado Mediano es una adamellita de grano medio porfídica. Los fenocristales de feldespato potásico son de ortosa peritítica e incluyen en su interior pequeños cristales de cuarzo, plagioclasa y biotita. La base mineralógica está compuesta por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa generalmente zonada y biotita. La biotita es la mica principal. La moscovita aparece muy subordinada y es claramente tardía, producto de la escasa moscovitización de biotitas y de la alteración de feldespatos. La cloritización es un proceso mucho más generalizado y también se encuentra abundante sericita de alteración de los feldespatos. Como accesorios figuran apatitos subredondeados y de hábito prismático y circones incluidos en biotitas.

Mineralización: Descripción

Tipo: «Nuestro Padre Jesús», Colmenar del Arroyo.

Minerales hipogénicos: GALENA, BLENDA, CALCOPIRITA, pirita, gersdorffita.

Minerales supergénicos: Marcasita, covellina, neodigenita, cerusita, anglesita, goethita.

Minerales de la ganga: CUARZO, BARITINA, ankerita, calcita.

Particularidades:

Gargantilla del Lozoya: Presencia de bismutina, estannina y matildita.

Canencia: Presencia de tennantita.

Collado Mediano: Ausencia de blenda.

Galena. Es el mineral principal en este tipo de filones y por el que fueron explotados antiguamente. Se presenta en masas alotriomorfas, que rellenan fisuras dentro de la blenda y la calcopirita. Muestra una incipiente alteración a anglesita y cerusita.

Se ha supuesto que la galena de estos filones era argentífera (NARANJO, 1853; GIL y MAESTRE, 1874; MENÉNDEZ ORMAZA, 1926). Mediante el estudio microscópico no se ha encontrado ningún mineral de Ag en las cuatro mineralizaciones. Sin embargo, por microsonda electrónica se ha determinado la presencia de Ag en Colmenar del Arroyo y Gargantilla del Lozoya. En Colmenar del Arroyo se estima que el contenido en Ag de la galena oscila entre 100 y 500 ppm, aunque su distribución es muy irregular y está próxima al límite de detección de la microsonda. En Gargantilla del Lozoya no aparece Ag en la galena, sino asociada al Bi formando granos submicroscópicos de matildita.

Blenda. Los granos de blenda presentan bordes irregulares y están muy fracturados. Estas fracturas se han rellenado posteriormente por galena y cuarzo. La blenda incluye en su interior pequeños granos irregulares de calcopirita. Es de hacer notar que la blenda está ausente en la mineralización de Collado Mediano.

Calcopirita. En general, se encuentra subordinada a la galena y a la blenda. Aparece incluida en estos minerales, aunque se sitúa preferentemente en los bordes de grano de la galena. Frecuentemente aparece mezclada en la forma característica de «hojas de laurel» (RAMDOHR, 1969).

Pirita. Es un mineral muy accesorio en este tipo de filones. Aparece en forma de pequeños granos idiomorfos o subidiomorfos, muy cataclásticos, incluidos en calcopirita. Está parcialmente transformada en marcasita.

Gersdorffita. En la mineralización de Gargantilla del Lozoya se ha citado skutterudita (CoAs₃) (CANEPA, 1968; FEBREL, 1970). Sin embargo, analizando este mineral mediante microsonda electrónica se han obtenidos unos resultados de su composición que se aproximan al de una gersdorffita teórica (NiasS) y no al de una skutterudita.

	NiFeCo	As	S
Composición aproximada.	34 %	52 %	14 %

Se ha podido apreciar, por su alto contenido en Ni y S que la composición de este mineral entra dentro del campo de las gersdorffitas naturales (ROSNER, 1970).

La gersdorffita se encuentra en pequeños granos idiomorfos, de contornos poligonales, a menudo reunidos en agregados o incluidos en calcopirita o en cuarzo. Se presentan claramente zonados y sustituidos en los bordes por galena (foto 5). Se encuentra también gersdorffita en Colmenar del Arroyo.

Tennantita. En la galena aparecen incluidos unos granos redondeados con tinte verdoso. También se encuentran en la calcopirita, presentando en contacto con ella un tinte más azulado. Se han determinado estos granos como de la serie tetraedrita-tennantita. La microsonda electrónica ha revelado en este mineral un alto contenido en As, por lo que debe aproximarse a la composición de una tennantita.

Estannina y bismutina. Estos dos minerales se encuentran en forma de pequeñas inclusiones redondeadas en calcopirita, sólo en la mineralización de Gargantilla del Lozoya. Su presencia es de carácter muy accesorio.

Minerales supergénicos. Cerusita y anglesita, en forma de agregados, reemplazan a la galena por los bordes. De igual forma, se ha producido en este tipo de filones una sustitución de pirita por marcasita y de calcopirita por neodigenita, covellina y goethita.

Minerales de la ganga

Baritina. Es un mineral de ganga característico en este tipo de filones. Se presenta en forma de cristales alargados, con una exfoliación bien definida. Aparece acompañando a galena y blenda.

Cuarzo. Existen dos generaciones de cuarzo bien diferenciadas. La primera de ellas viene representada por granos pequeños, redondeados, incluidos en galena, blenda y calcopirita. La segunda es la más abundante. La constituye un cuarzo intersticial tardío de baja temperatura, que rodea siempre a la mineralización. Forma bandas concéntricas, en las que hay alternancia de cuarzo microcristalino y cristales alargados de cuarzo con textura «en peine» (*comb structure*). También es común que se formen geodas de cuarzo en cuyo interior se han depositado carbonatos.

Carbonatos. Se ha determinado por difracción de rayos X y tinción (método de Friedman) la presencia de ankerita y calcita en la mineralización de Colmenar del Arroyo. Estos carbonatos aparecen en grietas dentro del cuarzo y son los últimos minerales hipogénicos en depositarse.

Caracteres metalogénicos: Paragénesis y sucesión mineral

Se ha realizado un estudio de conjunto y comparativo de los esquemas de sucesión mineral (figuras 5, 6, 7 y 8) de los filones con sulfuros BPGC, por presentar todos ellos características metalogénicas similares.

- La deposición comienza en las mineralizaciones de Gargantilla del Lozoya y Colmenar del Arroyo con la formación de gersdorfitas y pirita. En los filones de Canencia y Collado Mediano no aparece gersdorfitas; sin embargo, es posible que se encuentre en profundidad. Posteriormente, y antes de la deposición de la calcopirita, se forman pequeñas cantidades de tennantita en Canencia, y de bismutina y estannina en Gargantilla del Lozoya.

- A continuación, el orden de deposición de los minerales es el mismo para las cuatro mineralizaciones. Sucesivamente se depositan calcopirita, blenda y galena, con la salvedad del filón de Collado Mediano, en el que no aparece blenda. Entre la deposición de la blenda y la galena se produce una disconti-

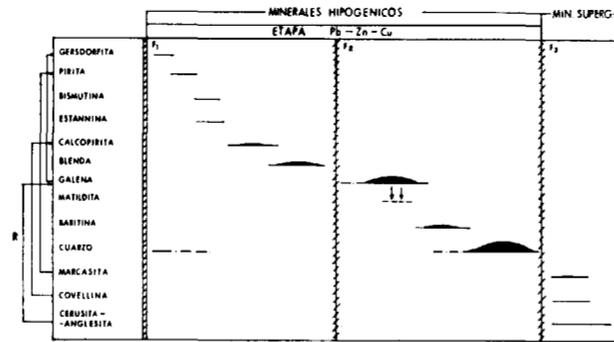


Figura 5.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Gargantilla del Lozoya).

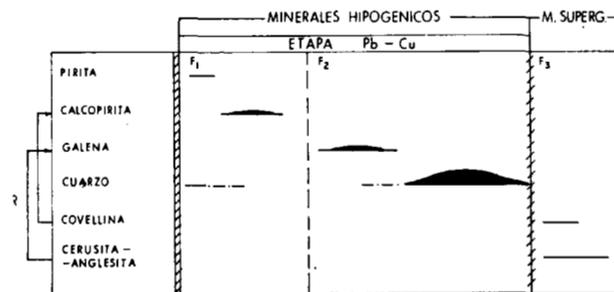


Figura 6.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Collado Mediano).

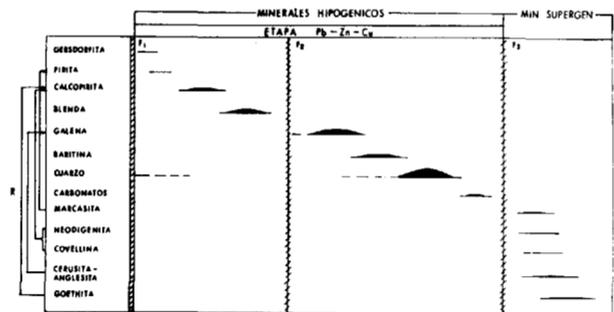


Figura 7.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Colmenar del Arroyo).

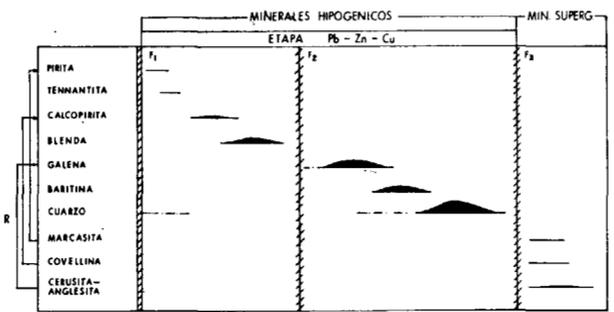


Figura 8.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Canencia).

nidad (fase de brechificación F₂), que ha fracturado los minerales preexistentes. A favor de estas fisuras se ha depositado la galena.

En la mineralización de Collado Mediano esta fase F₂ no se pone claramente de manifiesto. Sin embargo, debe existir por analogía con los otros filones de este tipo.

- Después de la galena se deposita baritina y cuarzo y en la mina de «Nuestro Padre Jesús», en Colmenar del Arroyo, también carbonatos (ankerita y calcita).
- La etapa F₃ marca el comienzo de la deposición de minerales supergénicos. Marcasita, covellina, anglesita y cerusita reemplazan a la pirita, calcopirita y galena, respectivamente.

3.2. Grupo VI: Filones con baritina

Son aquellos filones cuyo componente fundamental es la baritina. Todos ellos están situados en el límite SO de la zona de estudio (Fresnedillas, San Martín de Valdeiglesias, Navas del Rey).

Este grupo se ha subdividido en dos subgrupos: Filones de baritina no mineralizados y filones de baritina con galena.

3.2.1. Subgrupo 1: Filones de baritina no mineralizados

Los filones con baritina no mineralizados, tabla IV, se explotaron mediante calicatas y trincheras superficiales, siguiendo la dirección filoniana principal. Actualmente, en las zanjas se observan haces filonianos de reducido espesor, 10 cm aproximadamente, que presentan una dirección E-O.

TABLA IV

Término	Coordenadas	Hoja topográfica 1:50.000
Fresnedillas	40° 29' 10''N 0° 28' 45''W	558
San Martín de Valdeiglesias.	40° 23' 50''N 0° 37' 40''W	557
Navas del Rey	40° 21' 38''N 0° 35' 10''W	557
Navalagamella	40° 26' 25''N 0° 24' 25''W	558

Algunos de estos filones (San Martín de Valdeiglesias, Navas del Rey) están situados en el macizo metamórfico El Escorial-Villa del Prado. Su roca encajante son gneises feldespáticos bandeados y gneises de grano fino (PEINADO, 1970). En particular, el filón con baritina de San Martín de Valdeiglesias se prolonga hasta el granito que rodea el macizo metamórfico. Otros filones (Fresnedillas, Navalagamella) son enteramente intragraníticos y se localizan en adamellitas biotíticas de grano medio.

Estos filones están constituidos casi exclusivamente por baritina blanca o rosada, asociada con cuarzo. En ellos no se encuentran sulfuros, lo que diferencia este subgrupo del siguiente. También se observan a veces pequeños cristales cúbicos de fluorita blanca-amarillenta incluidos en baritina.

3.2.2. Subgrupo 2: Filones de baritina con galena

Este tipo de filones se encuentra en los alrededores de Navalagamella. Se trata de antiguas explotaciones en las que fundamentalmente se benefició la baritina. La extracción se realizó mediante galerías y zanjas en la dirección filoniana. Esta es aproximadamente N 60° E, aunque también aparecen filoncillos E-O. Las tres mineralizaciones están formadas por haces subparalelos de filones con potencias que oscilan entre 0,5 y 1,5 m.

TABLA V

Término	Coordenadas	Hoja topográfica 1:50.000
Navalagamella (I)	40° 26' 25''N 0° 25' 40''W	558
Navalagamella (II)	40° 25' 18''N 0° 26' 50''W	558
Navalagamella (III)	40° 27' 10''N 0° 27' 56''W	558

Los filones de baritina con galena encajan fundamentalmente en rocas graníticas. Algunas mineralizaciones (Navalagamella II y III) se encuentran en adamellitas porfídicas y otras (Navalagamella I) en adamellitas de grano medio no porfídicas. Los caracteres mineralógicos y texturales de estas rocas se han descrito ya para otros grupos de filones.

Tipo: «Navalagamella».

Minerales hipogénicos: Galena, calcopirita, pirita.

Minerales supergénicos: Cerusita, anglesita, covellina, neodigenita, goethita.

Minerales de la ganga: BARITINA, cuarzo.

La galena se encuentra fundamentalmente formando «nidos» aislados en la baritina. Aparece alterada a cerusita y covellina. La calcopirita y la pirita se presentan como inclusiones de reducido tamaño en la galena. La pirita, muy accesoria, muestra hábito idiomorfo y cataclasis.

Minerales supergénicos. La cerusita sustituye parcialmente a la galena. Asimismo y mezclada con ella, reemplazan a la galena neodigenita, covellina y anglesita muy accesoria. La goethita es escasa.

Minerales de la ganga. La baritina es el mineral dominante en la paragénesis. Es una baritina muy pura, con escasas cantidades de cuarzo, que aparece en forma de cristales alargados y muy deformados.

La sucesión mineral de este grupo de filones se puede resumir en un solo esquema (fig. 9):

- Pirita y calcopirita son los primeros minerales en depositarse y lo hacen de forma minoritaria. Después se deposita galena y baritina. Con el cuarzo finaliza la deposición de los minerales hipogénicos.
- Posteriormente, se produce una fase F_2 , a

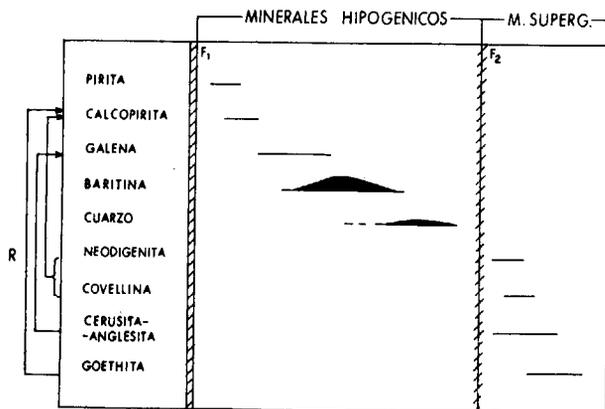


Figura 9.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Navalagamella).

favor de la cual se distribuyen los minerales supergénicos: covellina, neodigenita, cerusita y goethita.

3.3. Grupo VII: Filones de fluorita con galena

Este grupo comprende aquellos filones en los que aparece fluorita como mineral dominante, acompañado de pequeñas cantidades de galena. Del mismo modo que los filones con baritina (grupo VI), estas mineralizaciones están situadas en el extremo SO de la zona de estudio, en los alrededores de Colmenar del Arroyo.

TABLA VI

Término	Coordenadas	Hoja topográfica 1:50.000
Colmenar del Arroyo (I) ...	40° 25' 50"N 0° 32' 28"W	557
Colmenar del Arroyo (II) ...	40° 27' 15"N 0° 31' 48"W	557
Colmenar del Arroyo (III) ...	40° 26' 24"N 0° 30' 35"W	557

Las explotaciones, ya abandonadas, se realizaron mediante zanjas y galerías, que siguen la dirección filoniana (N 60° E). La más importante de las tres es el Pozo San Eusebio (Colmenar del Arroyo, I). Las labores de esta mina se reanudaron recientemente para la extracción de fluorita y terminaron en el verano de 1976.

Los filones de fluorita con galena encajan siempre en rocas graníticas de tipo adamellita de grano medio porfídicas y no se han localizado en rocas metamórficas.

Tipo: «Pozo San Eusebio» (Colmenar del Arroyo, I).

Minerales hipogénicos: Galena.

Minerales supergénicos: Cerusita, anglesita, covellina.

Minerales de la ganga: FLUORITA, cuarzo.

La galena es poco abundante y aparece dispersa en la fluorita. Se encuentra parcialmente alterada a cerusita, covellina y anglesita muy accesoria.

La fluorita es el mineral principal. Se trata de una fluorita bandeada o cristalizada en cubos, de colores típicos verdoso-violáceos y amarillentos.

Como es común en las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama, se encuentran dos generaciones de *cuarzo*. La primera incluida en la galena y la segunda, tardía, forma bandas con alternancias de *cuarzo* microcristalino y *cuarzo* en cristales alargados (textura en peine). Este último es posterior a la *fluorita*, pues rellena fisuras dentro de ella.

La sucesión mineral de este grupo de filones queda expresada en la figura 10.

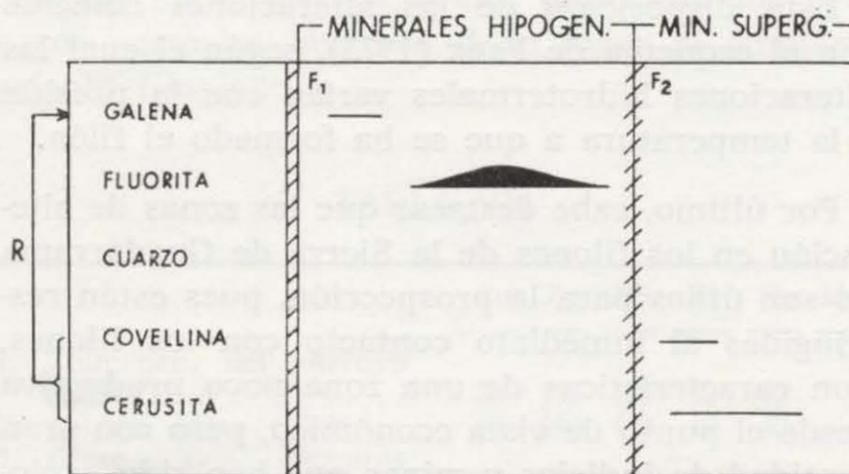


Figura 10.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Colmenar del Arroyo). Pozo San Eusebio.

4. ALTERACION DE LAS ROCAS ENCAJANTES EN LOS BORDES DE LOS FILONES

En la proximidad de los filones de roca encajante (rocas graníticas o metamórficas) se encuentra alterada. Todos estos fenómenos de alteración son debidos al emplazamiento filoniano y la alteración se restringe a estrechas zonas (5 a 20 cm.) a ambos lados de los filones, aunque puede llegar a veces hasta 0,5 m. La naturaleza de los productos de alteración viene condicionada por el tipo de filones.

— En los filones con *wolframita* el tipo de alteración más generalizada consiste en una moscovitización con una marcada disposición simétrica de la moscovita en los bordes de las venas. También se verifican fenómenos de cloritización de biotitas y aureolas de reacción ferruginosa (foto 6).

En algunas mineralizaciones (Manzanares el Real) el granito llega a estar greisenizado, constituido esencialmente por *cuarzo* y mica blanca de grano grueso (primera fase de

greisen; BEUS, 1962). No llega a formarse un verdadero «greisen», pues faltan minerales de neoformación característicos, como son *fluorita* y *topacio*.

Este granito greisenizado tiene poco desarrollo y pasa gradualmente a un granito moscovitizado y en parte cloritizado, en el que la presencia de *feldespato potásico* es constante, y finalmente a un granito prácticamente inalterado.

— Los filones de *cuarzo* con *casiterita* son fundamentalmente intragraníticos. Los productos de alteración a que dan lugar se distribuyen en diferentes zonas. Con objeto de estudiar la variación del granito, se ha realizado en Hoyo de Manzanares (I) un corte transversal a la dirección filoniana, en el que se tomaron muestras a 0, 50, 75, 150 y 250 m. de la mineralización.

En las salvandas de los filones el granito aparece muy alterado, sericitizado y moscovitizado. No constituye un granito greisenizado, pues se encuentra *feldespato potásico* de forma mayoritaria.

A medida que aumenta la distancia, el granito está silicificado y las biotitas se encuentran casi totalmente cloritizadas. A 150 m. de

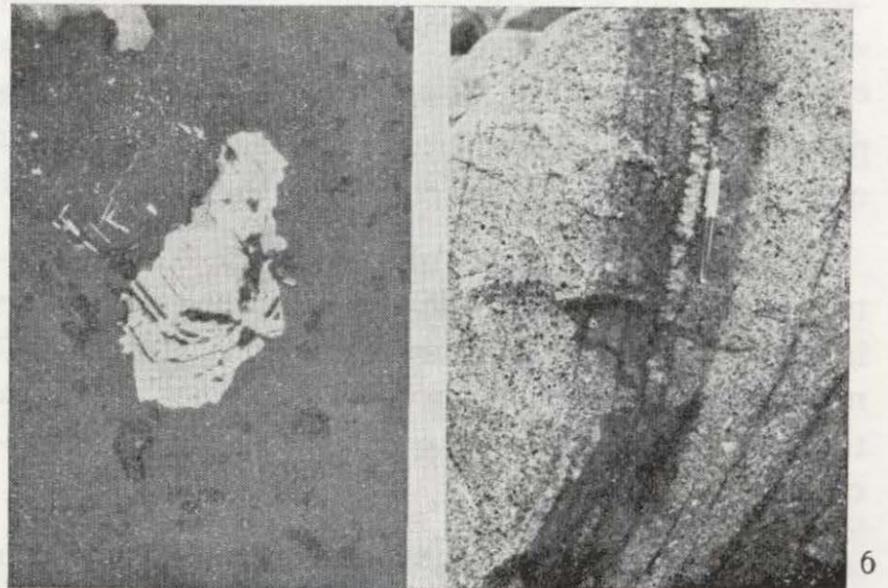


Foto 5.—Cristal idiomorfo de gersdorfita sustituido en un borde por galena. Obsérvese la zonación de la gersdorfita. L. Refl. LN \times 200.

Mineralización de Gargantilla del Lozoya.
Foto 6.—Aureola de reacción en el borde de un filón de cuarzo con wolframita. Mineralización de «Cabeza Lijar» (Guadarrama).

los filones la cloritización y la silicificación disminuyen y a 250 m. el granito aparece poco alterado. Existe, pues, un gradiente de disminución progresiva de alteración a medida que se aleja del filón.

- En los filones con arsenopirita los fenómenos de alteración más frecuentes son la moscovitización de biotitas y la silicificación de los gneises encajantes. Otros procesos que cabe señalar son la cloritización de biotitas y la sericitización de feldespatos, así como una diseminación de apatitos y opacos en la roca, que va disminuyendo según nos alejamos del área mineralizada.
- En los filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn las alteraciones más comunes son la sericitización y la cloritización. El material encajante en contacto con la mineralización ha quedado convertido en su mayor parte en una roca matriz sericitica y cloritica, en la que aparecen incluidos granos de cuarzo y restos de feldespatos sin alterar.
- En el resto de las mineralizaciones (filones BPGC, filones con baritina y filones con fluorita + galena) la alteración dominante es la cloritización. La sericita aparece subordinada a la clorita, aunque se trata también de un proceso generalizado.

En los filones con fluorita la alteración está restringida a escasos milímetros en los bordes de las venas.

Como se puede observar, cada grupo de filones presenta un tipo de alteración característica, aunque la sericitización es común a todos.

Según PARK (1975), la naturaleza de los productos de alteración depende del carácter original de la roca encajante, del carácter de los fluidos mineralizadores (Eh, pH, presión de vapor) y de la temperatura y presión a que tienen lugar las reacciones.

En las mineralizaciones que nos ocupan son de decisiva influencia el segundo y tercero de los factores.

Las alteraciones asociadas a mineralizaciones de W, Sn, As son fundamentalmente de tipo moscovítico y sericitico. Según desciende la temperatura de formación de las venas (mineralizaciones de Cu)

la alteración más característica es la sericitización y subordinada la cloritización. Las mineralizaciones de Pb, Zn, Ba, F son las de menor temperatura de la zona y el tipo de alteración dominante es la cloritización, aunque persiste la formación de sericita. La silicificación es un fenómeno más o menos generalizado.

Se puede resaltar que parte de los minerales de ganga en los filones han derivado de la roca encajante por procesos de alteración (clorita, sericita, moscovita).

Esta disposición de las alteraciones coincide con el esquema de PARK (1975), según el cual las alteraciones hidrotermales varían con la presión y la temperatura a que se ha formado el filón.

Por último, cabe destacar que las zonas de alteración en los filones de la Sierra de Guadarrama no son útiles para la prospección, pues están restringidas al inmediato contacto con los filones. Son características de una zona poco productiva desde el punto de vista económico, pero con gran cantidad de indicios y minas que han sido explotadas anteriormente.

5. REPARTICION DE LOS ELEMENTOS METALOGENICOS EN LOS GRANITOS ENCAJANTES DE ALGUNAS MINERALIZACIONES TIPO

En algunas mineralizaciones (Colmenar del Arroyo —mina de «Nuestro Padre Jesús», Cabeza Lijar, Otero de Herreros y Hoyo de Manzanares-I) se han tomado muestras del granito encajante en contacto directo con los filones, con objeto de analizar los siguientes elementos metalogénicos: Cu, Zn, Pb, W, Sn y Mo (tabla VII).

En Hoyo de Manzanares el granito se encontraba fuertemente alterado y por ello se ha tomado otra muestra (H-5) a 200 m. de los filones, donde el granito aparecía poco o nada alterado.

De los resultados obtenidos (tabla VII) se observa que en los granitos encajantes de mineralizaciones estudiados el contenido en elementos metalogénicos aumenta, exceptuando el molibdeno, y llega en algunas muestras a valores elevados respecto del contenido medio de dichos elementos en granitos (tabla VIII).

Los contenidos en Sn son moderadamente altos y constantes, presentando estos valores no sólo aquellos granitos que están relacionados con filones estanníferos (H-4, H-5), sino también granitos portadores de otras mineralizaciones, como W, Cu, Pb, Zn (CAR-1, LI-2, OT-1). En los filones con casiterita de Hoyo de Manzanares existe una pequeña disminución de Sn respecto de otros granitos mineralizados (Cabeza Lijar, Otero de Herreros, Colmenar del Arroyo). Este hecho podría interpretarse como que ha existido una pequeña extracción de Sn del granito encajante (removición hacia las fracturas), junto con los procesos normales que han dado lugar al emplazamiento filoniano.

De igual modo, los contenidos en W obtenidos son ligeramente superiores a los de un granito sin mineralizar (tabla VIII), sin que exista un enriquecimiento considerable en los filones con wolframita, como son Otero de Herreros y Cabeza Lijar.

El contenido en Mo de los granitos analizados presenta un rango de valores que puede considerarse normal. Es significativa su pequeña variación, debiendo haber jugado un papel de escasa importancia en la deposición. Esto puede venir corroborado por la escasez de molibdenita en casi todas las mineralizaciones.

Los contenidos de Pb, Cu y Zn son asimismo ligeramente superiores a los normales, pero no específicamente en las mineralizaciones con galena, calcopirita o blenda. En algunas mineralizaciones (Otero de Herreros y Hoyo de Manzanares) los valores son relativamente bajos y comparables a los de granitos sin mineralizar.

Se puede concluir que no existe enriquecimiento preferencial. En granitos encajantes de mineralizaciones con wolframita no existe enriquecimiento especial en W, o filones con calcopirita en Cu, o en filones con galena en Pb. No existe, pues, una correlación clara entre el enriquecimiento del elemento en el granito y su mineralización correspondiente. Lo que sí puede afirmarse es que debido al hecho filoniano, algunos granitos encajantes en contacto directo con las mineralizaciones sufren ligeros enriquecimientos en determinados elementos. Esto es consecuencia de la introducción de elementos metalogénicos por fluidos mineralizadores activos, dentro de un proceso metalogénico de conjunto empobrecido.

6. REPARTICION DE LAS MINERALIZACIONES EN FUNCION DE LA ORIENTACION DE FRACTURAS

Las distintas fracturas que aparecen en el área se han representado mediante «diagramas en rosa». Los datos fueron obtenidos de la fotografía área (direcciones aproximadas) y la metodología ha sido representar la fracturación por separado para cada litología, serie metamórfica (fig. 11) y granito (figura 12), y finalmente para todas las rocas en conjunto (fig. 13).

TABLA VII

	Cu	Zn	Pb	W	Sn	Mo
1. Colmenar del Arroyo (CAR-1)	20	155	130	90	40	2
2. Cabeza Lijar (LI-2) ...	60	190	450	10	40	1
3. Otero de Herreros (OT-1)	20	75	70	15	40	3
4. Hoyo de Manzanares (H-4)	55	40	30	20	30	1
5. Hoyo de Manzanares (H-5)	10	75	60	12	30	< 1

Contenidos en ppm de Cu, Zn, Pb, W, Sn y Mo en cinco granitos encajantes de mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama.

1. Filones con sulfuros BPGC. Adamellita porfiroide.
2. Filones con wolframita + sulfuros de Cu-Sn-Zn. Leucoadamellita.
3. Filones con wolframita. Adamellita.
4. Filones de cuarzo con casiterita. Adamellita fuertemente hidrotermalizada en contacto con los filones.
5. Filones de cuarzo con casiterita. Adamellita porfiroide poco o nada alterada a 200 m de los filones.

TABLA VIII

	Wedepohl (1969)	Levinson (1974)
Sn	3,5 ± 1	3
W	1—3,5	2
Mo	—	2
Pb	20	20
Cu	10-20	10
Zn	30-70	40

Contenido medio en ppm de Sn, W, Mo, Pb, Cu, Zn en granitos, según WEDERPOHL (1969) y LEVINSON (1974).

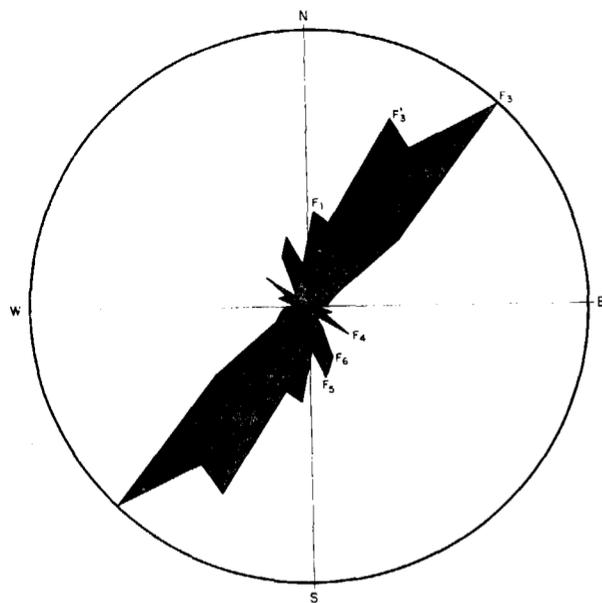


Figura 11.—Diagrama «en rosa» de orientación de fracturas 250 medidas en la serie metamórfica.

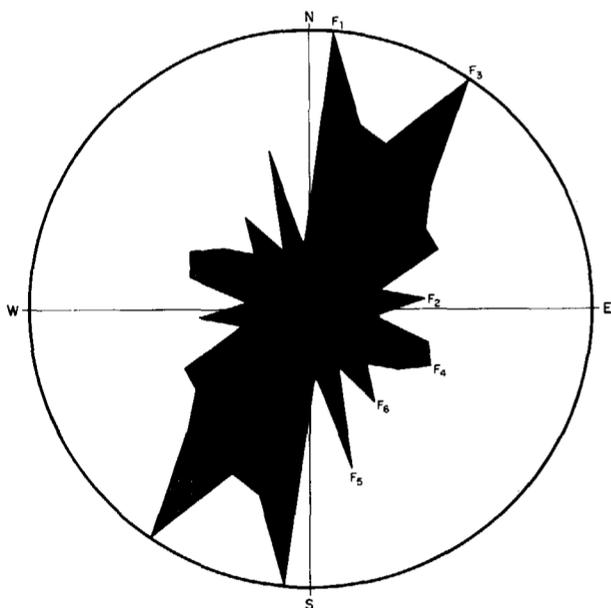


Figura 12.—Diagrama «en rosa» de orientación de fracturas 280 medidas (granito).

De la observación de estos diagramas se ha visto que las fracturas pueden agruparse en los siguientes sistemas:

- Un sistema F_1 de orientación aproximada N-S, variando a $N 5^\circ S$. Adquiere este sistema una mayor importancia en los granitos.
- Otro sistema F_2 de dirección aproximada E-O ($N 85^\circ-95^\circ E$) y que es casi exclusivamente intragranítico y con escasa representación en la serie metamórfica.
- El sistema F_3 de orientación $N 20^\circ$ a $N 50^\circ E$ es el que adquiere mayor importancia en toda la zona y afecta a todos los materiales. En la serie metamórfica aparece desdoblado en dos «subsistemas» F_3 y F'_3 de orientación $N 40^\circ$ a $N 50^\circ E$ y $N 20^\circ E$ a $N 30^\circ E$, respectivamente.
- Otro sistema de fracturas F_4 , de importancia en la zona y en especial en el granito, es el que presenta una dirección que oscila entre $N 100^\circ E$ y $N 120^\circ E$.
- Finalmente, destacan dos conjuntos de fracturas F_5 y F_6 que tienen representación tanto en la serie metamórfica como en los granitos. El primero de ellos, F_5 , tiene una dirección aproximada $N 165^\circ E$ y su familia de fracturas presenta direcciones que oscilan entre $N 160^\circ E$ y $N 170^\circ E$. El sistema F_6 , peor definido que el anterior en la serie metamórfica, oscila entre $N 140^\circ E$ y $N 150^\circ E$.

La longitud de representación de las distintas familias de fracturas está en relación directa con la importancia de las mismas en el área. Así, pues, la familia F_3 es la más importante en número para todos los materiales y la F_1 adquiere mayor desarrollo en los granitos que en la serie metamórfica, siendo el segundo sistema en importancia.

Las direcciones de los principales sistemas filonianos se han representado y superpuesto a los diagramas en rosa de fracturas. La representación de las direcciones filonianas se ha realizado individualmente para cada sustancia. De ahí se deducen las siguientes consideraciones:

1. Para las mineralizaciones de W y Sn (fig. 14) el principal sistema filoniano (S-F-1) tiene una dirección aproximada $N 45^\circ E$. Este coincide perfectamente con el sistema de fracturas F_3 , cuya orientación oscila entre $N 20^\circ$ y $N 50^\circ E$, de gran importancia en toda la zona.

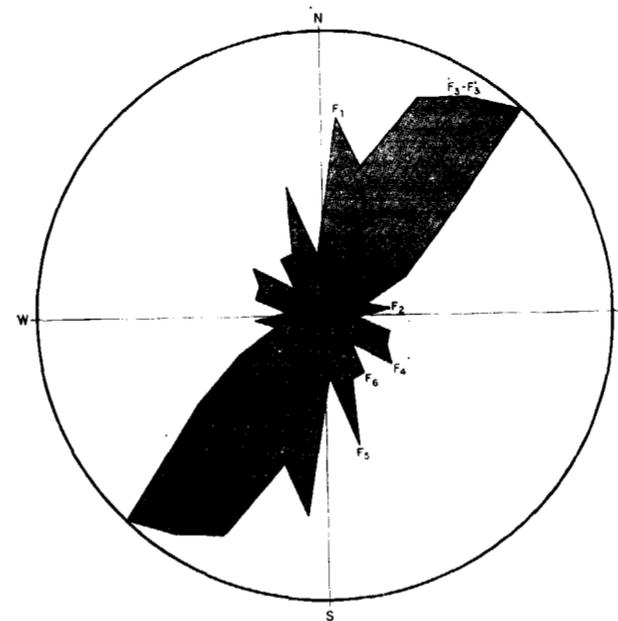


Figura 13.—Diagrama «en rosa» general de orientación de fracturas (granito y serie metamórfica), 530 medidas.

Otra dirección filoniana (S-F-2) es la que está representada por la orientación aproximada $N 100^\circ E$, que coincide con la familia de fracturas F_4 .

Las mineralizaciones de W y Sn se disponen también según unas orientaciones comprendidas entre $N 80^\circ E$ y E-O (S-F-3) y corresponden con la familia de fracturas F_2 .

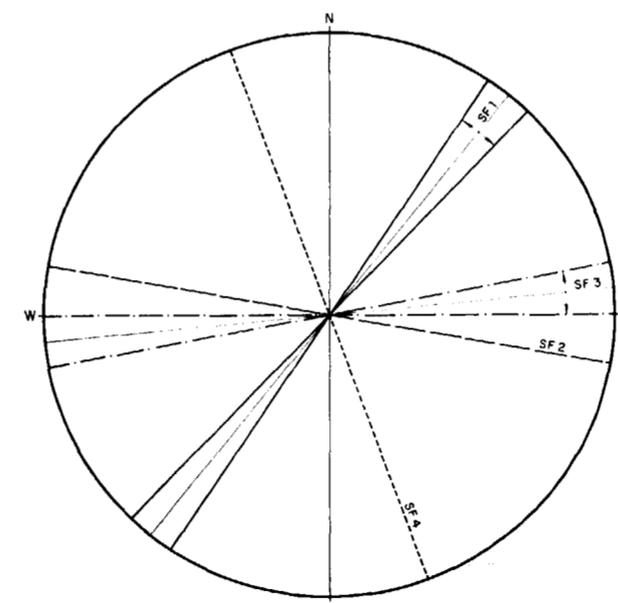
Por último, un cuarto sistema filoniano (S-F-4) presenta dirección aproximada $N 160^\circ E$, si bien parece menos importante y con menor desarrollo que los anteriores. Tiene también su correspondencia con la familia de fracturas F_5 de direcciones comprendidas entre $N 160^\circ E$ y $N 170^\circ E$.

2. Para las mineralizaciones de Cu (fig. 15) la dispersión de los sistemas filonianos es mayor, presentando mayor diversidad de orientaciones.

Del mismo modo que para el W y el Sn, para el Cu se encuentran también cuatro sistemas filonianos:

- Un primer sistema (S-F-1) es el de direcciones comprendidas entre $N 30^\circ$ y $N 45^\circ E$, correspondiente con la familia de fracturas F_3 .
- Destaca también por su importancia un segundo sistema filoniano (S-F-2) de direcciones comprendidas entre $N 100^\circ E$ y $N 110^\circ E$, coincidente con el sistema de fracturas F_4 .
- Aparece también un tercer grupo de filones (S-F-3) con orientaciones que oscilan entre $N 75^\circ E$ y E-O, de considerable importancia y que coincide aproximadamente con el sistema de fracturas F_2 de dirección media E-O, de desarrollo casi exclusivo en el ámbito granítico.
- Otro sistema filoniano (S-F-5) es aquel de dirección aproximada $N 165^\circ E$, que tiene su correspondencia con la familia de fracturas F_5 . De forma análoga a como sucede para el W y el Sn, este último sistema adquiere menor importancia que los anteriores y existen pocas oscilaciones en cuanto a su dirección.

— Además, para el Cu aparece otro sistema filoniano de considerable importancia (S-F-4). Se presenta con una dirección aproximada N-S, variando a $N 10^\circ E$. Tiene también su



SF 1 = 1º sistema filoniano
 SF 2 = 2º " "
 SF 3 = 3º " "
 SF 4 = 4º " "

Figura 14.—Sistemas filonianos para el wolfram y el estaño.

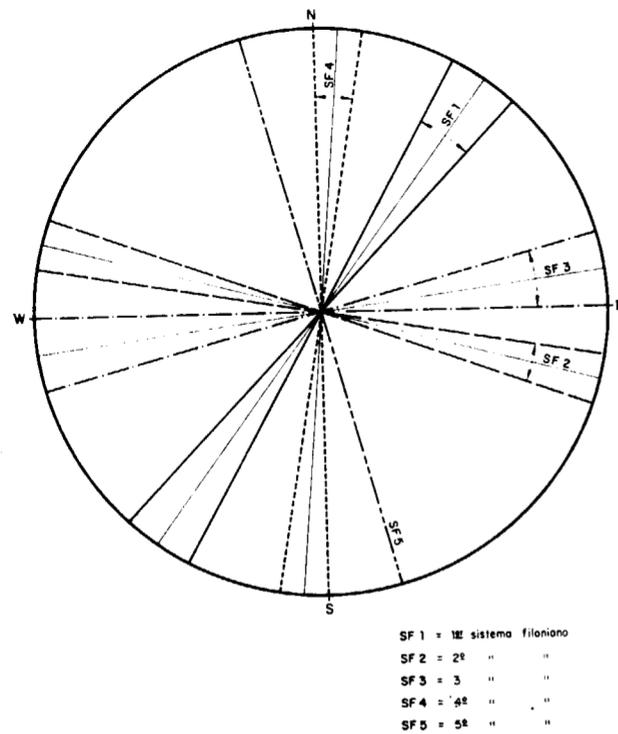


Figura 15.—Sistemas filonianos para el cobre.

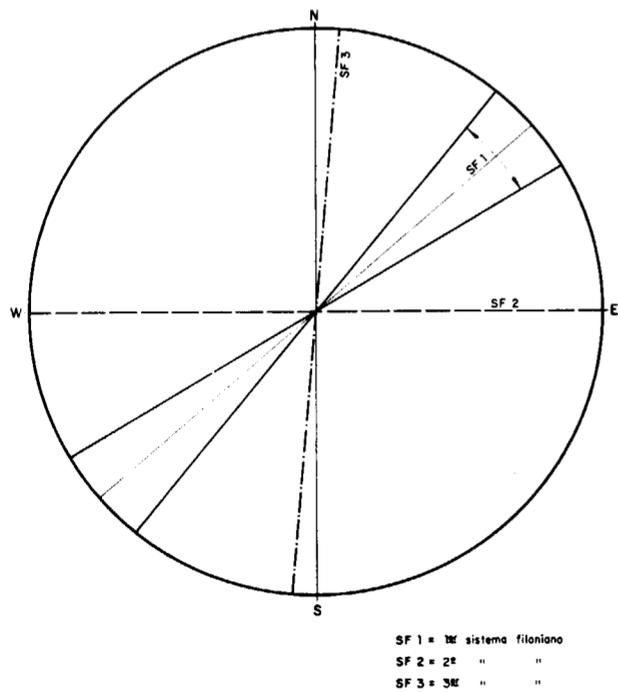


Figura 16.—Sistemas filonianos para el plomo.

correspondencia con la familia de fracturas F_1 de orientación N-S y cuya localización se restringe fundamentalmente al ámbito granítico.

Los sistemas filonianos S-F-3 para el W, Sn y Cu, así como el sistema S-F-4 (dirección exclusiva para el Cu), tienen su localización preferentemente en el granito, lo que da lugar a sistemas filonianos fundamentalmente intragraníticos, aunque también hay filones con esta dirección en la serie metamórfica.

3. Las mineralizaciones de Pb y Ba (fig. 16) se disponen según tres sistemas filonianos bien definidos:

- El principal de ellos (S-F-1) tiene una dirección que oscila entre N 40° E y N 60° E y que coincide, como en casos anteriores, con la dirección fundamental de fracturación del área N 45° E (F_3).

Cabe destacar que este sistema filoniano se encuentra en el caso del Pb y Ba girado unos 10° hacia el E con respecto al principal sistema filoniano (S-F-1) de las sustancias W, Sn y Cu.

- Las otras dos direcciones filonianas que presentan el Pb y el Ba son aproximadamente la N-S (S-F-3) y la E-O (S-F-2), coincidentes con los respectivos sistemas de fracturación F_1 y F_2 . Esta última la presentan fundamentalmente los filones de baritina con escasa cantidad o ausencia total de galena u otros metálicos. Asimismo y como en los casos anteriores, el sistema filoniano de dirección E-O tiene una localización casi exclusiva en el ámbito granítico.

4. Finalmente, cabe hacer algunas consideraciones con respecto a las mineralizaciones de As (fig. 17). Estos filones se encuentran estrechamente ligados a los de W y, además, en muchos casos, no ha sido posible obtener medida de sus direcciones en el terreno. Podemos decir únicamente que se orientan en la mayoría de los casos según direcciones, que oscilan entre N 35° E y N 55° E, y que coinciden, por tanto, con el principal sistema de fracturación del área (F_3).

Finalmente, cabe añadir que en todas las direcciones de fracturación de la zona de estudio se encuentran mineralizaciones, excepto en la F_6 , de

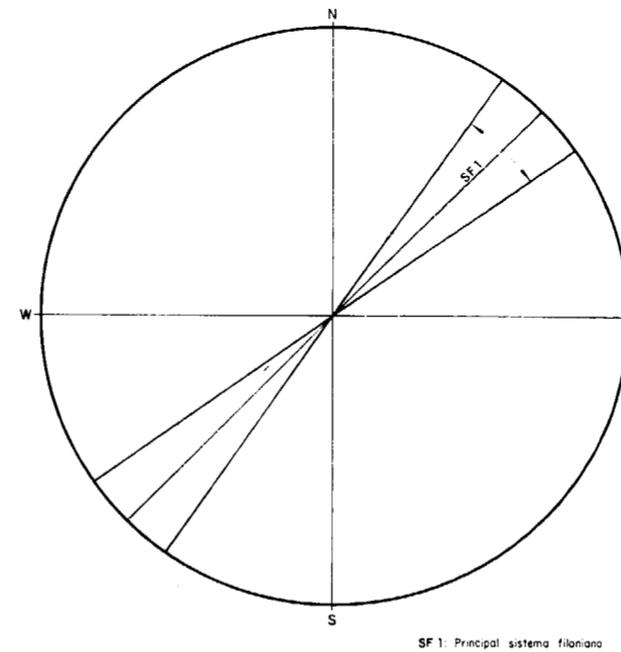


Figura 17.—Sistemas filonianos para el arsénico.

las experiencias de CANEPA (1968) sobre el coeficiente Huebnerita/Ferberita en las wolframitas del área de estudio.

Los filones con casiterita (grupo II) son probablemente los de más alta temperatura de los estudiados (hábito idiomorfo de los cristales de casiterita).

El grupo I, filones con wolframita, pertenece a la asociación *cuarzo-casiterita-wolframita* (q·Sn-W) (ARRIBAS, 1978). Esta asociación es muy frecuente en la zona Centro-Ibérica.

El grupo II presenta una paragénesis muy simple, a diferencia de los otros grupos de filones, y está constituida prácticamente sólo por cuarzo y casiterita. Pertenece a la asociación *cuarzo-casiterita* (q·Sn) (*ibid.*).

La segunda etapa (As-Fe) se pone solamente de manifiesto en el grupo III, filones con arsenopirita, en los que tiene amplio desarrollo. La tipología de este grupo III resulta más difícil de establecer, pues aunque la arsenopirita es el mineral dominante, su paragénesis viene definida por la presencia de wolframita, casiterita, sulfuros de Cn-Sn-Zn, galena y sulfosales de Ag (se reconocen tres etapas metalogénicas). Por tanto, se puede situar dentro de dos asociaciones mineralógicas de las establecidas por ARIBAS (1978): *cuarzo-casiterita-wolframita* (q·Sn-W) y *cuarzo-sulfuros de Cu* (q·Cu).

La tercera etapa (Cu-Sn-Zn) es correlacionable en varios grupos de filones: grupo I (subgrupo 2), grupo III y grupo IV. Este último grupo es el resultado de esta única etapa mineralizadora. Durante ella se han desarrollado diversas texturas de desmezcla, que pueden servir de orientación sobre la temperatura de formación, aunque la utilización de exsoluciones como geotermómetros está actualmente en revisión.

La presencia de «gotas» de calcopirita en blenda es una textura generalizada en este tipo de filones. En un principio se interpretaron como características de filones de alta temperatura (300°-400° C; BUERGUER, 1934); sin embargo, RAMDOHR (1969) encuentra esta textura en blendas hidrotermales de baja temperatura. Por ello se considera que las emulsiones de calcopirita en blenda no son indicadores fiables de temperatura. La formación de exsoluciones cruciformes de blenda en calcopi-

orientación entre N 140° E y N 150° E. Sin embargo, la dirección de mayor importancia desde el punto de vista metalogénico es, tanto en el ámbito granítico como en el metamórfico, la N 45° E correspondiente con el sistema de fracturas F_3 (tabla IX).

7. SINTESIS E INTERPRETACION

7.1. Paragénesis y evolución temporal

Las mineralizaciones filonianas de la Sierra de Guadarrama son el resultado de varias etapas mineralizadoras, las cuales representan la llegada de soluciones que están separadas en el tiempo por movimientos tectónicos. Dichas mineralizaciones están constituidas por paragénesis de edad variscica y los grupos establecidos se correlacionan con los tipos paragenéticos dados por ARIBAS (1978) (tabla X).

La primera etapa (W-Sn-Mo) está representada en las mineralizaciones del grupo I (subgrupos 1 y 2), II y III (subgrupo 1). La asociación wolframita-cuarzo, wolframita-molibdenita-cuarzo o wolframita-casiterita indican una temperatura de deposición bastante alta. Esto está corroborado por

TABLA IX

SISTEMAS DE FRACTURACION	SISTEMAS FILONIANOS			
	W, S	As	Cu	Pb, Ba
F ₁ (N-S a N 5° E)	—	—	SF ₄ (N-S a N 10° E)	SF ₃ (N-S)
F ₂ (N 85° a 95° E)	SF ₃ (N 80° E a E-O)	—	SF ₃ (N 75° E a E-O)	SF ₂ (E-O)
F ₃ (N 20° a 50° E)	SF ₁ (N 35° a 45° E)	SF ₁ (N 35° a 55° E)	SF ₁ (N 30° a 45° E)	SF ₁ (N 40° a 60° E)
F ₄ (N 100° a 120° E)	SF ₂ (N 100° E)	—	SF ₂ (N 100° a 110° E)	—
F ₅ (N 160° a 170° E)	SF ₄ (N 160° E)	—	SF ₅ (N 165° E)	—
F ₆ (N 140° a 150° E)	—	—	—	—

Correlación de los principales sistemas filonianos con los sistemas de fracturación de la zona.

TABLA X

Tipología de la mineralización	Paragénesis	Asociaciones mineralógicas variscas según ARRIBAS (1978)
Grupo I: Filones con wolframita	WOLFRAMITA, scheelita, casiterita, molibdenita, sulfuros de Cu-Sn-Zn, cuarzo	Cuarzo-casiterita-wolframita (q. Sn-W)
Grupo II: Filones de cuarzo con casiterita	CASITERITA, cuarzo	Cuarzo-casiterita (q. Sn)
Grupo III: Filones con arsenopirita	ARSENOPIRITA, pirita, wolframita, casiterita, sulfuros de Cu-Sn-Zn, galena, matildita, cuarzo, micas	Cuarzo-casiterita-wolframita (q. Sn-W) Cuarzo-sulfuros de Cu (q. Cu)
Grupo IV: Filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn	CALCOPIRITA, blenda, estannina, bismuto, bismutina, cuarzo, micas	Cuarzo-sulfuros de Cu (q. Cu) Cuarzo-uranio-sulfuros de Cu (q. U-Cu)
Grupo V: Filones con sulfuros BPGC	GALENA, BLENDA, CALCOPIRITA, baritina, cuarzo	Cuarzo-galena-blenda (q. Pb-Zn)
Grupo VI: Filones con baritina	BARITINA, galena, cuarzo	Cuarzo-galena-baritina (q. Pb-Ba)
Grupo VII: Filones con fluorita con galena	FLUORITA, galena	Fluorita-blenda-galena (f. Zn-Pb)

Correlación entre las paragénesis de la Sierra de Guadarrama y las asociaciones mineralógicas variscas establecidas por ARRIBAS (1978).

rita y de «gotas» de pirrotina en blenda (Bustarviejo), sí está restringida a una temperatura media-alta (RAMDOHR, 1969). También se ha comprobado experimentalmente que la desmezcla de cubanita en calcopirita se produce a una temperatura media, entre 250° y 300° C (BORCHERT, 1934), y no como se pensaba en un principio por encima de los 450° C (SCHWARTZ, 1927). Una temperatura similar indican las emulsiones de calcopirita en estannina (Bustarviejo), pues ocasionalmente pue-

de aparecer cubanita asociada a la calcopirita (RAMDOHR, 1969).

Todo esto indica que la etapa de sulfuros de Cu-Sn-Zn ha tenido lugar a temperaturas medias.

El grupo IV, sulfuros de Cu-Sn-Zn, encuadra en la asociación *cuarzo-sulfuros de Cu* (q. Cu). Puesto que se ha citado la presencia de minerales de uranio en estos filones, su paragénesis puede es-

tar también incluida en la asociación *cuarzo-uranio-sulfuros de Cu* (q. U-Cu) (ARRIBAS, *op. cit.*).

En la última etapa metalogénica (Pb-Zn-Ag) las soluciones finales de más baja temperatura, enriquecidas en Pb y Ag, han depositado galena y matildita (grupo III, subgrupo 2, y grupo V). La desmezcla galena-matildita determina una temperatura de 210° C (RAMDOHR, 1969).

Finalmente, los grupos VI y VII representan una etapa final más tardía, en la que las soluciones aportan solamente Ba, F y algo de Pb. Son las mineralizaciones de más baja temperatura del área de estudio.

Los grupos V, VI y VII pertenecen a la asociación *Pb-Zn* (BPGC). Los tres grupos se pueden encuadrar en cada uno de los diferentes tipos paragenéticos establecidos por ARRIBAS (*op. cit.*) en la asociación BPGC. El grupo V se sitúa en la asociación *cuarzo-galena-blenda* (q. Pb-Zn), en la que la blenda y la galena se encuentran aproximadamente en las mismas proporciones. El grupo VI encuadra en la asociación *cuarzo-galena-baritina* (q. Pb-Ba), fundamentalmente constituida por cuarzo, baritina y galena —más o menos argentífera—, y como accesorios, pirita, marcasita y calcopirita. En la Sierra de Guadarrama predomina la baritina sobre la galena. El último grupo (VII), filones de fluorita con galena, pertenece a la asociación *fluorita-blenda-galena* (f. Zn-Pb), que se diferencia de los anteriores tipos por la presencia de fluorita.

Se puede concluir que las mineralizaciones filonianas de la Sierra de Guadarrama son consecuencia de un mismo proceso metalogénico global con varias etapas mineralizadoras. El que aparezca una u otra etapa en los distintos grupos es función de la existencia de una zonalidad normal, cuyo centro se situaría cercano al macizo de La Cabrera.

7.2. Microtectónica

De las observaciones efectuadas al microscopio se ha podido determinar la existencia de cinco fases microtectónicas relacionadas con las etapas metalogénicas (tabla XI). Estas fases son correlacionables entre sí, independientemente del número que se le ha asignado para cada mineralización.

La primera es la más importante y precede al

emplazamiento de la mineralización. Marca el comienzo de la deposición de los minerales Sn-W-Mo. La segunda, tercera y cuarta preceden, respectivamente, a las etapas de As-Fe, Cu-Sn-Zn y Pb-Zn-Ag. La última es consecuencia de movimientos de reajuste y favorece la distribución de minerales secundarios en niveles supergénicos.

Independientemente de estas cinco fases principales existen localmente algunas fases de brechificación de menor importancia, como, por ejemplo, la que normalmente precede al depósito de la galena en los filones BPGC, o la que marca la deposición del bismuto y la bismutina en el filón con sulfuros de Cu-Sn-Zn de Lozoyuela.

8. ZONALIDAD REGIONAL

Las mineralizaciones filonianas de la Sierra de Guadarrama presentan una determinada distribución zonal (fig. 18), cuyo foco generador se sitúa

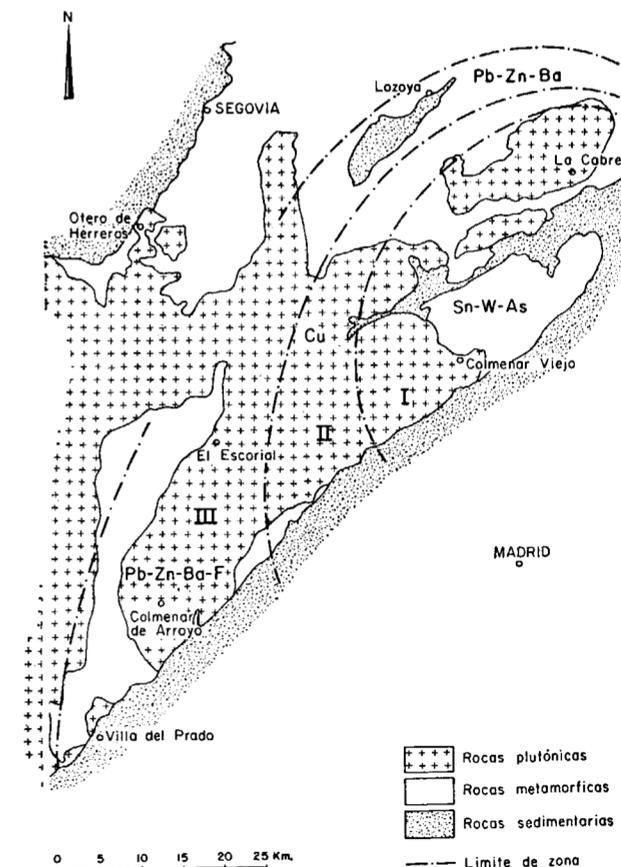


Figura 18.—Zonalidad regional de las mineralizaciones de la Sierra del Guadarrama.



TABLA XI

	F ₁ Etapa I	F ₂ Etapa II	F ₃ Etapa III	F ₄ Etapa IV	F ₅
Grupo I: Filones con wolframita					DISTRIBUCION DE MINERALES SUPERGENICOS
Subgrupo 1: Filones con wolframita	Q-W-Mo	—	sulfuros	—	
Subgrupo 2: Filones con wolframita + sulfuros Cu-Sn-Zn	Q-W-Mo	—	Cu-Sn-Zn	—	
Grupo II: Filones con casiterita	Q-Sn	—	—	—	
Grupo III: Filones con arsenopirita					
Subgrupo 1: Filones de arsenopirita + sulfuros	W-Sn	As-Fe	Cu-Sn-Zn	—	
Subgrupo 2: Filones de arsenopirita + sulfuros + sulfosales de Ag	—	As-Fe	Cu-Sn-Zn	Pb-Ag	
Grupo IV: Filones con sulfuros Cu-Sn-Zn	—	—	Cu-Sn-Zn	—	
Grupo V: Filones con sulfuros BPGC	—	—	—	Pb-Zn-Ba	
Grupo VI: Filones con baritina	—	—	—	Pb-Ba	
Grupo VII: Filones con fluorita + galena	—	—	—	F-Pb	

Sucesión de las diferentes etapas metalogénicas en cada uno de los grupos de mineralizaciones filonianas de la Sierra de Guadarrama.

cercano al macizo de La Cabrera. Las diversas zonas son más o menos paralelas y presentan una curvatura de trazado elipsoidal.

Se han establecido tres zonas principales, que se denominan «interna» (I), «intermedia» (II) y «externa» (III), según su situación respecto del foco (fig. 18).

- La zona «interna» (I), la más cercana al foco generador, viene definida por la presencia de mineralizaciones de W, Sn, As.
- La zona «intermedia» (II) está determinada por la presencia de mineralizaciones de Cu.
- La zona «externa» (III), la más lejana del centro generador, está definida por la presencia de mineralizaciones de Pb, Zn, Ba y F.

Este esquema coincide con el de zonalidad «normal» de EMMONS (en ROUTHIER, 1963).

Los filones de W, Sn, As se localizan preferentemente en la zona oriental del Guadarrama, rodeando al macizo de La Cabrera, en el cerro metamórfico de San Pedro, alrededores de Colmenar Viejo y Hoyo de Manzanares. Esta zona «interna» tiene unas dimensiones de unos 50 km. de larga por 25 km. de ancha y termina bruscamente en

el borde oriental del macizo de La Cabrera y en el contacto de las rocas plutónicas y metamórficas con el Terciario.

La zona «intermedia», filones de Cu, es la más estrecha de las tres, 5 a 10 km. de ancha, y se extiende desde el norte del batolito de La Cabrera, Colmenarejo, Valdemorillo, hasta el contacto del granito con el Terciario. En esta última parte sufre un ensanchamiento considerable de unos 20 km.

La zona «externa», filones de Pb, Zn, Ba, F, se extiende desde la región de Lozoya hasta Robledo de Chavela, Colmenar del Arroyo y San Martín de Valdeiglesias. En su parte norte presenta una anchura de 5 a 10 km. y hacia el sur sufre un ensanchamiento, paralelo al de la zona del Cu, de unos 35 km. Hay que hacer notar que en su parte media existe un «gap» de mineralizaciones y que en la parte sur aparecen mineralizaciones de fluorita, lo que no se verifica en el norte. Al oeste de esta zona, tomando como límite occidental el macizo metamórfico de El Escorial-Villa del Prado, las mineralizaciones desaparecen. Por consiguiente, falta la zona del Sb, que sigue a la del Pb en el esquema de zonalidad de EMMONS (en ROUTHIER, 1963).

La transición entre las zonas es gradual y se

encuentran solapes (telescopado) entre una zona y otra. Esto puede justificar las excepciones en el esquema propuesto.

En la zona del Sn, W, As se encuentran algunas mineralizaciones de Pb (núms. 31, Redueña, y 32, Guadalix de la Sierra) y de Cu (núm. 22, Colmenar Viejo). Este hecho se puede explicar admitiendo la repetición de las zonas en el borde oriental de La Cabrera, como consecuencia de ser éste el centro generador de la zonalidad. Estas zonas se habrían desarrollado insuficientemente y muy solapadas, quizá debido a que el plutón termina allí en un borde abrupto. También en la zona del Cu está situada la mineralización de W de Moralzarzal (núm. 4). La explicación de ello hay que buscarla en irregularidades de los límites de zona, que lógicamente deben formar lóbulos e indentaciones. Del mismo modo, fuera del esquema de zonalidad regional se localiza el grupo de mineralizaciones de Cu y W de San Rafael-Otero de Herreros-Guadarrama. Su situación se puede justificar como consecuencia de la existencia de una probable apófisis granítica no aflorante.

También se ha indicado ya que en la parte media de la zona del Pb existe un «gap» de mineralizaciones. Esta ausencia se puede explicar admitiendo la idea de FERSMANN (en ROUTHIER, 1963) sobre la desaparición de la zona del Pb en profundidad y sería reflejo de las irregularidades del foco generador.

Como es lógico, existe una estrecha relación entre la zonalidad regional y las diversas etapas metalogénicas, que han dado lugar a las concentraciones minerales. Los filones situados en límites de zona presentan paragénesis más complejas, que son el resultado de varias etapas mineralizadoras. Este sería el caso de la mineralización de Bustarviejo (núm. 16). En estos filones la zonalidad se pone de manifiesto también a escala de yacimiento. Sólo se han podido obtener muestras superficiales de los filones, pero los datos que se disponen sobre la antigua explotación de las minas corroboran la hipótesis del empobrecimiento de algunos minerales en profundidad (disminución de la Ag en Bustarviejo).

También en algunas mineralizaciones varía la composición mineralógica a lo largo de la dirección del filón, como, por ejemplo, el filón con wolframita de Otero de Herreros, que se enriquece considerablemente en scheelita hacia el NO.

Por lo que se refiere a las alteraciones hidrotermales, ya se ha indicado anteriormente que son una mera consecuencia del hecho filoniano, apareciendo restringidas a ambos lados de las venas mineralizadas. Son características de cada zona solamente por lo que respecta a su estrecha relación con el tipo de filones y no definen en ningún modo áreas prospectables o de grandes dimensiones.

La síntesis sobre la distribución zonal de estas mineralizaciones queda expresada en la tabla XII.

La posición relativa de las mineralizaciones revela la existencia de una clara zonalidad normal, excéntrica, controlada por un gradiente térmico a partir de un centro generador. Este se sitúa en el plutón granítico de La Cabrera.

Según el esquema clásico de zonalidad de EMMONS (*op. cit.*), a medida que aumenta la distancia al foco generador va cambiando la composición de las soluciones mineralizadoras y la temperatura, depositando los minerales característicos de cada zona. Sin embargo, según la hipótesis de SMIRNOV (en SMIRNOV, vol. I, 1976), no se trata de la deposición continua de un único fluido mineralizador, sino que intermitentemente y en forma de pulsaciones se separan de la cámara magmática soluciones hidrotermales de diferente composición (hipótesis de las pulsaciones). Esto vendría favorecido por la reapertura de sucesivas fisuras, que serían nuevos conductos para las nuevas soluciones relacionadas con la evolución y consolidación de la intrusión. Esta hipótesis no explica suficientemente la zonalidad a escala de yacimiento.

Por otro lado, SMIRNOV, V. I. (1976), reconoce dos tipos genéticos de zonalidad primaria en los depósitos hidrotermales: zonalidad estadial y zonalidad de facies.

La zonalidad estadial está producida por la separación de la cámara magmática de sucesivas soluciones mineralizadoras de diferente composición. Dentro de ella se pueden establecer tres tipos: zonalidad de reapertura de fallas, zonalidad de apertura tectónica y zonalidad de metasomatismo intramineralización.

La zonalidad de reapertura de fallas (recurring-fault zoning) es el resultado de sucesivas deformaciones tectónicas, que abren nuevamente las fisuras, y como consecuencia de ello éstas se re-

TABLA XII

Ganga	Zona y minerales	Temperatura	Metales	Alteraciones hidrotermales
Cuarzo — Micas — Baritina — Carb.	III. Zona «externa» Baritina Fluorita Calcopirita Blenda Galena	BAJA	Ba, F Pb, Zn Cu	Moscovitización— Sericitización— Cloritización— Silicificación
	II. Zona «intermedia» Calcopirita Estannina Blenda	MEDIA	Cu, Sn, Zn	
	I. Zona «interna» Arsenopirita Pirita Wolframita Molibdenita Casiterita	ALTA	As, Fe Mo, W Sn	

Síntesis de distribución zonal de las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama.

lleen de mineralizaciones de diferente composición.

La zonalidad de apertura tectónica es muy similar a la anterior, con la diferencia de que la fisura «crece» durante la acumulación continuada de la mineralización, abriéndose y extendiéndose en una u otra dirección. A diferencia de la zonalidad de reapertura de fallas, el paso de una zona a otra es suave y gradual.

La zonalidad de metasomatismo intramineralización se desarrolla a causa de la removilización y redeposición alrededor de la periferia de la mineralización durante los últimos estadios de su formación.

La zonalidad de facies está producida por el cambio en las condiciones geológicas y físico-químicas durante la circulación de los fluidos mineralizadores. Asimismo, se pueden establecer tres tipos: zonalidad dependiente de la composición de las rocas encajantes que son atravesadas por el fluido mineralizador; zonalidad de filtración, que depende fundamentalmente de la diferente movilidad de los componentes metálicos y se desarrolla en cuerpos mineralizados individuales y zonalidad de deposición. Esta última

está controlada por el cambio en los parámetros físico-químicos durante la deposición: temperatura, presión, acidez-alkalinidad, actividad del azufre, oxígeno y otros elementos metalogénicos. Normalmente esta zonalidad genera zonas que no se repiten y pasan gradualmente de una a otra.

Generalmente, la zonalidad no obedece a una sola causa. Las características observadas en la sierra de Guadarrama (zonalidad a escala regional y de yacimiento, tránsito gradual y no repetición de zonas, disminución de la temperatura con la lejanía al centro generador) la encuadran en un tipo de zonalidad de facies de SMIRNOV (1976), y más concretamente en una zonalidad de deposición. Sin embargo, el control claramente estructural de las mineralizaciones no descarta la acción de fallas con reaperturas y relleno de mineralizaciones de diferente composición.

Esta disposición de las mineralizaciones es comparable con el ejemplo clásico de zonalidad del distrito de Cornualles (Gran Bretaña), en la que se distribuyen mineralizaciones de Sn, Cu y Pb-Zn alrededor de cinco macizos graníticos hercínicos encajados en materiales devónicos y

carboníferos. El establecer una correlación entre las mineralizaciones de la sierra de Guadarrama y el distrito minero de Cornualles lleva consigo problemas de escala y productividad minera. La sierra de Guadarrama representa un conjunto metalogénicamente empobrecido frente al distrito de Cornualles, cuyos yacimientos han sido explotados desde mediados del siglo xv y en 1860 abastecían tres cuartas partes del consumo mundial de Cu, y entre 1864 y 1880 el 40 por 100 del Sn mundial. En la actualidad la producción ha descendido notablemente. Por consiguiente, la correlación establecida es tan sólo desde el punto de vista metalogénico, en cuanto a la disposición de las zonas y las mineralizaciones que aparecen en las mismas.

En España se han definido otros ejemplos de zonalidad, pero sus características no son comparables a las del Guadarrama. Destaca la zonalidad peribatolítica normal que presenta el batolito de los Pedroches (CRESPÓ, 1972) y la zonalidad del batolito de Albuquerque con mineralizaciones que del centro al borde son de U, Sn-W, Pb-Zn y Sb (GUMIEL et al., 1976). Las diferencias entre la zonalidad que presentan estos batolitos y la de la sierra de Guadarrama son las paragénesis de las zonas y la productividad de las minas, así como la distribución en los primeros de las mineralizaciones alrededor de batolitos de direcciones hercínicas.

9. ORIGEN DE LAS MINERALIZACIONES FILONIANAS

La geometría filoniana de estas mineralizaciones, su estrecha relación con los granitos y su distribución en zonas alrededor del plutón de La Cabrera ponen de manifiesto el origen ígneo de las mismas.

La génesis de estas mineralizaciones está relacionada con la evolución del plutón de La Cabrera. Este constituye uno de los términos más tardíos y diferenciados del conjunto de rocas graníticas del Sistema Central, formando parte de la misma unidad evolutiva. La gran abundancia de rocas muy diferenciadas en este plutón es debida a la acumulación de magmas residuales muy ricos en volátiles en zonas de techo (BELLIDO, 1979). Por consiguiente, se puede suponer que

el conjunto de mineralizaciones filonianas está genéticamente ligado a la evolución de este macizo, desarrollándose una zonalidad normal características de este tipo de yacimientos y que se puede explicar por las teorías de la Metalogenia clásica.

Estas mineralizaciones filonianas representan un proceso hidrotermal que se ha desarrollado a lo largo de varias etapas metalogénicas, en cada una de las cuales se han depositado diferentes paragénesis en relación con la temperatura y lejanía al foco generador. En la etapa inicial y de más alta temperatura se han depositado mineralizaciones de W, Sn, Mo, muy cercanas al foco generador. En la etapa intermedia, según desciende la temperatura, se ha desarrollado una zona con mineralizaciones de Cu, y finalmente aparecen mineralizaciones de más baja temperatura (Pb, Zn, Ag, Ba, F) en las zonas más lejanas al foco generador. Este proceso metalogénico hidrotermal se ha desarrollado a escala regional, emplazándose las mineralizaciones indistintamente en rocas metamórficas y/o graníticas, según la distribución relativa de las mismas en la sierra de Guadarrama.

Al intentar establecer el modelo metalogénico global de las mineralizaciones filonianas de la sierra de Guadarrama, es un hecho objetivo que el ámbito de constitución de dichas mineralizaciones son los granitos y rocas metamórficas encajantes. Por otra parte, resulta factible suponer que el ámbito de transporte han sido soluciones hidrotermales que provienen del granito y que han circulado favorecidas por la existencia de fracturas y discontinuidades. Por último, y siguiendo el método deductivo empleado, el ámbito generador puede estar representado por el macizo de La Cabrera, uno de los términos más diferenciados del complejo granítico del Sistema Central.

En resumen, las mineralizaciones filonianas se pueden clasificar como hidrotermales plutónicas con un amplio rango de temperaturas dentro del dominio hidrotermal.

Establecido el ámbito generador de transporte y de constitución de estas mineralizaciones filonianas, sólo resta hacer ciertas consideraciones sobre su edad. A falta de dataciones geocronológicas, y teniendo en cuenta que el plutón de La Cabrera intruye con posterioridad al metamor-

fismo y deformaciones del ciclo hercínico (FERNÁNDEZ CASALS, 1976, y BELLIDO, 1979), se puede considerar que el cortejo de mineralizaciones asociadas se ha emplazado favorecido por la tectónica de fracturación tardihercínica.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado en la realización de este trabajo. En primer lugar al profesor AMORÓS PÓRTOLES, director del Departamento de Cristalografía y Mineralogía de Madrid, promotor de la labor desarrollada, por su aportación de ideas y críticas al trabajo. Asimismo, deseamos expresar nuestra gratitud al profesor ARRIBAS MORENO, director del Departamento de Cristalografía y Mineralogía de Salamanca, por su continua orientación y asesoramiento a lo largo de estos años.

Agradecemos también al doctor FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, del Instituto Geológico y Minero de España, su ayuda en la realización e interpretación de resultados de microsonda electrónica, y a nuestras compañeras Rosario LUNAR y Josefina SIERRA por su continua ayuda en el estudio de secciones pulidas y análisis de muestras por medio del microvideomat.

Por último, a todos aquellos compañeros de la Facultad de Ciencias Geológicas, con cuya colaboración y ayuda hemos contado en todo momento, nuestro profundo agradecimiento.

BIBLIOGRAFIA

- ALDAMA, J.: *Sustancias minerales más notables del distrito de Madrid*. Rev. Minera, Serie A, t. XI, pp. 168-172 (1860).
- ARRIBAS, A.: *Mineral paragenesis in the Variscan metallogeny of Spain*. Stvd. Geol., 14, pp. 223-260 (1978).
- BELLIDO, F.: *Estudio petrológico y geoquímico del plutón granítico de La Cabrera (Madrid)*. Tesis Doctoral, Univ. de Madrid (1979).
- BEUS, A. A., y ZALACHKOVA, N. E.: *On the processes of high-temperature postmagmatic metasomatism in granitoids*. Izvestia de la Acad. Sc. URRS, Ser. geol. núm. 4, pp. 13-31 (1962).

- BORCHERT, H.: *Über Entmischungen im System Cu-Fe-S und ihre Bedeutung al geologisches Thermometer*. Chemie der Erde, 9, pp. 145-172 (1934).
- BUERGUER, N. W.: *The unmixing of chalcopyrite from sphalerite*. Am. Min., 19, pp. 528-530 (1934).
- BUERGUER, N. W., y BUERGUER, M. Y.: *Cristallographic relations between cubanite segregation plates, chalcopyrite matrix, and secondary chalcopyrite twins*. Am. Mineral., 19, pp. 289-303 (1934).
- CALDERÓN, S.: *Los minerales de España*. Tomos I y II. Eduardo Arias, 560 pp. (1910).
- CANEPA, C.: *Contribución a la metalogenia de la Sierra de Guadarrama*. (Hojas 484 y 509, Provincia de Madrid.) Tesis Doctoral, Univ. de Madrid (1968).
- CRESPO, V.: *La reserva del Valle de Alcudia y su contexto geológico minero en Sierra Morena Central*. Bol. Geol. Min., 83, pp. 174-180 (1972).
- FEBREL, T.: *Microscopía de minerales opacos*. E. T. S. de Ingenieros de Minas, Madrid, 104 pp. (1970).
- FERNÁNDEZ CASALS, M. J.: *Estudio meso y microtectónico de la zona de tránsito Paleozoico-metamórfica de Somosierra (Sistema Central Español)*. Tesis Doctoral, Univ. de Madrid (1976).
- FERNÁNDEZ NAVARRO, L.: *Las minas de El Espinar*. Bol. Rev. Soc. Esp. Hist. Nat., t. V, pp. 511-516 (1905).
- GIL Y MAESTRE, A.: *Datos geológico-mineros sobre algunos grupos de minas del distrito de Madrid*. Bol. de la Comisión del Mapa Geol. de España, t. I, IGME, pp. 283-286 (1974).
- GUMIEL, P.; ARRIBAS, A., y SAAVEDRA, J.: *Geología y Metalogenia del yacimiento de estibina-scheelita de San Antonio. Alburquerque, Badajoz*. Stv. Geol., 10, pp. 61-93 (1976).
- LEVINSON, A. A.: *Introduction to Exploration Geochemistry*. Applied Publishing Ltd. Maywood, Illinois, 614 pp. (1974).
- MENÉNDEZ ORMAZA, J.: *Criaderos de plomo de Garganta y Gargantilla*. Informe. Jef. Minas, Madrid (1926).
- MUÑOZ DEL CASTILLO, J.: *Minerales radioactivos de Colmenar Viejo y Torrelodones*. An. Soc. Esp. Fis. Quim. A., 2 (1904).
- MUÑOZ DEL CASTILLO, J.: *Una mina radioactiva en Colmenarejo*. Rev. Minera, Serie C, t. 23, pp. 215-216 (1905 a).
- MUÑOZ DEL CASTILLO, J.: *Más sobre la mina radiactiva «Antigua Pilar» de Colmenarejo*. Rev. Minera, Serie C, t. 23, p. 280 (1905 b).
- MUÑOZ DEL CASTILLO, J.: *Nuevos minerales radiactivos de San Rafael*. Bol. Soc. Esp. Hist. Nat., 6, pp. 163-166 (1906).
- MUÑOZ DEL CASTILLO, J., y RETAMAL MARTÍN, J.: *Minerales radiactivos de El Espinar*. An. Soc. Fis. Quim., año III (1905).

- NARANJO, F.: *Descripción de las minas de galena argentífera de Gargantilla de Buitrago*. Rev. Minera, Serie A, t. 4, pp. 409-417 (1853).
- OELSNER, O.: *Atlas des principales paragenesis minerales vues au microscope*. Gauthier-Villars, Paris, 309 pp. (1965).
- PARK, CH., y MACDIARMIND, R. A.: *Ore Deposits*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 529 pp. (1975).
- PEINADO, M.: *Carácter del metamorfismo en el macizo metamórfico El Escorial-Villa del Prado (Sistema Central Español)*. Est. Geol., 26, pp. 323-326 (1970).
- PÉREZ, P.: *Estudio de los criaderos minerales de San Rafael (Segovia)*. Bol. Oficial Minas y Metalurgia, año IV, núms. 32 y 33, pp. 1-24 (1920).
- PÉREZ SÁNCHEZ, P.: *Estudio de los criaderos minerales de San Rafael (Segovia)*. Cat. Des. Cri. Min., t. 1-2 (1933).
- RAMDOHR, P.: *Neue mikroskopische Beobachtungen am Cubanit und Überlegungen über seine Lagerstättenkundliche Stellung*. Zeit. f. prak. geol., 36, pp. 169-178 (1928).
- RAMDOHR, P.: *The ore minerals and their intergrowths*. Pergamon Press, 1.174 pp. (1969).
- ROSNER, B.: *Mikrosonde-Untersuchungen am natürlichen Gersdorffiten*. Neu. Jb. Mineral. Monats., vol. 11, pp. 483-496 (1970).
- ROUTHIER, P.: *Les gisements métallifères*. Masson et Cie. (Paris), 867 pp. (1963).
- SCHWARTZ, G. M.: *Chalcopyrite and cubanite*. Econ. Geol., 22, pp. 44-61 (1927).
- SMIRNOV, V. I.: *Geology of mineral deposits*. Mir Publishers-Moscow. Translation editor H. C. Creighton, 520 pp. (1976).
- WEDEPOHL, K. H.: *Handbook of geochemistry*. Springer Verlag, Berlín (1969).

Recibido: Mayo de 1981