

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

## Parte I

Por E. VINDEL (\*)

### RESUMEN

El estudio de las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama (provincia de Madrid y Segovia) se ha dividido en una serie de trabajos.

Las mineralizaciones filonianas se han clasificado en base a su paragénesis, estableciéndose siete paragénesis tipo. En este trabajo (parte I) se estudian las características más importantes de las mineralizaciones de W, Sn y As: GRUPO I: Filones con wolframita; GRUPO II: Filones de cuarzo con casiterita, y GRUPO III: Filones con arsenopirita.

En primer lugar se resumen los principales rasgos geológicos del área de estudio. Posteriormente se analizan el ámbito encajante y los caracteres generales de las mineralizaciones (disposición, morfología). Finalmente, se estudian sus caracteres metalogénicos: paragénesis y sucesión mineral.

### SUMMARY

The mineralizations of Guadarrama Mountains (Madrid and Segovia provinces) are studied in several papers.

The ore veins are been classified by their mineral paragenesis. Several paragenesis are defined, and this is made according to their mineralogy, which allows to classify the mineralogical association in seven groups.

The main characteristics of W, Sn and As mineralizations are studied in this paper (Part I). Three groups are proposed:

Group I: Wolframite veins.

Group II: Quartz-cassiterite veins.

Group III: Arsenopyrite veins.

First of all distinctive geological traits have been generalized. Next the nature of wall rock and the main characteristics of this mineralizations are examined (morphology, mineral aptitude); as well as the metallogenic aspects: paragenesis and mineral sequence.

## 1. INTRODUCCION

Este trabajo fue presentado para la opción al título de Doctor en Geología Económica en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid, y en él se ha estudiado la paragénesis, sucesión mineral, zonalidad y origen de las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama.

Para la publicación de este estudio se ha dividido el mismo en dos trabajos, que se agrupan bajo un título común: «Estudio mineralógico y

metalogénico de las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama». En este primero se estudian las mineralizaciones filonianas que se consideran de temperatura media-alta (W, Sn). En el siguiente trabajo se expondrán las características de las mineralizaciones filonianas de temperatura media (Cu) y baja (Pb, Ba, F).

## 2. ANTECEDENTES

Durante el siglo XVII estuvieron en explotación algunos yacimientos de la Sierra de Guadarrama, como por ejemplo la mina «Mónica» de Bustarviejo. Sin embargo, la máxima actividad minera de la Sierra se desarrolla durante la segunda mi-

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

tad del siglo XIX. El verdadero desarrollo minero tuvo lugar a partir de 1841, año en el que se realizaron 500 solicitudes de registro o denuncia. Es, por tanto, durante esta época y principios del siglo XX, cuando se hicieron la mayoría de los estudios sobre minería. Estos trabajos son en su mayor parte descripciones mineralógicas muy sucintas o datos acerca de las labores mineras en explotación.

Las primeras síntesis sobre la riqueza minera de la provincia de Madrid son las de ALDAMA (1860), ARCINEGA (1860) y DEL PRADO (1864). En ellas se hace una descripción de las principales mineralizaciones del área. GIL y MAESTRE (1874) resalta las localidades de interés minero, que eran para ese momento Gargantilla de Lozoya, Garganta de los Montes, Lozoyuela y El Cuadrón.

ESCOSURA (1852), CALDERÓN (1905 y 1910), FERNÁNDEZ NAVARRO (1903, 1916a y 1916b), PÉREZ MATEOS (1938) y HERNÁNDEZ SAMPELAYO (1946) citan especies minerales encontradas.

NARANJO (1853), PÉREZ FOURNIES (1924), LANDECHO (1927) y MENÉNDEZ ORMAZA (1926 y 1933) describen las labores mineras de Gargantilla de Lozoya, Robledo de Chavela, Colmenar del Arroyo, Navalagamella y Bustarviejo. FERNÁNDEZ NAVARRO (1905), MUÑOZ DEL CASTILLO (1905a, 1905b y 1906), MUÑOZ DEL CASTILLO y RETAMAL MARTÍN (1905), PÉREZ (1920), MENÉNDEZ ORMAZA (1924) y PÉREZ SÁNCHEZ (1933) realizan estudios sobre las mineralizaciones de cobre de Colmenarejo y San Rafael-El Espinar, y citan por primera vez la presencia de minerales radioactivos asociados al cobre.

Al descender en los años treinta la actividad minera de la Sierra de Guadarrama, se interrumpen los estudios sobre minería. Esta primera época termina con la publicación de LANDECHO (1947) «El distrito minero de Madrid».

Los trabajos sobre las mineralizaciones de Guadarrama se reanudan diez años después con las Memorias de las Hojas geológicas núms. 484 (FEBREL et al., 1958), 509 (FUSTER y FEBREL, 1959), 533 (SAN MIGUEL DE LA CÁMARA et al., 1956) y 532 (SAN MIGUEL DE LA CÁMARA y GARCÍA FIGUEROLA, 1960). En ellas se trata ya el problema metalogénico a grandes rasgos.

DE PEDRO (1956) señala que los elementos metálicos, que han constituido las mineralizaciones,

proviene de las rocas actualmente metamorfizadas. Indica como guías de prospección granitos de grano fino y zonas de fractura, con un empobrecimiento de elementos metálicos en sus inmediaciones.

CÁNEPA (1968) realiza su Tesis Doctoral sobre «Contribución a la Metalogena de la Sierra de Guadarrama». Es este el trabajo más completo que se ha realizado sobre las mineralizaciones de la Sierra. Comprende el estudio de las mineralizaciones de las Hojas núms. 509 y 484 (Torrelaguna y Buitrago de Lozoya) y en él se trata sobre la metalogena de veinte mineralizaciones de W, As, Cu y Pb.

Recientemente, PÉREZ REGODÓN (1970), en su «Guía geológica y minera de la provincia de Madrid», hace una relación de las concesiones mineras existentes.

El estudio más moderno sobre las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama es el de SAMPER (1977), en el cual se investiga la evolución de la minería en la zona de Bustarviejo, así como las posibilidades de concentración de los minerales de interés económico en la mina «Mónica».

### 3. ENCUADRE GEOLOGICO REGIONAL

Las mineralizaciones, objeto de este estudio, se localizan en la región centro-oriental del Sistema Central, en la Sierra de Guadarrama. Los límites de la zona en la que se distribuyen las mineralizaciones son: al norte, el paralelo de Segovia; al oeste, la vertical de Villa del Prado; al este, el límite oriental del macizo de la Cabrera; y al sur, los materiales sedimentarios postpaleozoicos (fig. 1).

El área de estudio está comprendida en la zona Centro-Ibérica del Macizo Hespérico (JULIVERT et al., 1974), que corresponde con la zona Galaico-Castellana establecida por LOTZE (1945).

La litología de este sector está constituida por una serie de rocas metamórficas y graníticas. Las rocas metamórficas son en su mayor parte una monótona serie de gneises glandulares y migmatíticos, que se intercalan con gneises bandeados y esquistosos. Asimismo, aparecen intercalaciones calcáreas, calcáreo-dolomíticas y anfíbolíticas.

Por lo que respecta a la edad de estas formaciones, primeramente una serie de autores (CAPOTE y VEGAS, 1968; FERNÁNDEZ CASALS y CAPOTE, 1970 y 1971; BARD et al., 1970 y 1972; SÁNCHEZ DE LA FUENTE et al., 1971; SOERS, 1972, y CAPOTE, 1973) consideraron a los gneises glandulares de edad precámbrica por analogía con la formación «Ollo de Sapo» (PARGA et al., 1964) y a la serie metasedimentaria superior como perteneciente al Cámbrico Inferior.

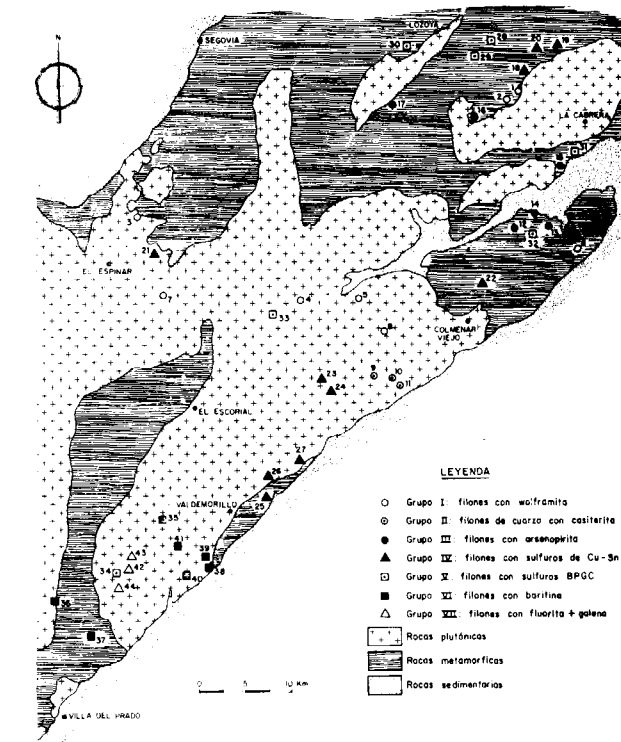


Figura 1.—Situación de las principales mineralizaciones filonianas de la Sierra de Guadarrama.

Posteriormente, y a la vista de nuevos datos, CAPOTE y FERNÁNDEZ CASALS (1975), FERNÁNDEZ CASALS (1976) y CAPOTE et al. (1977), atribuyen casi todas las formaciones preordovícicas del Sistema Central, con excepción de las de Arenas de San Pedro, al Precámbrico Superior.

Otros autores (FEBREL et al., 1958; FUSTER y FEBREL, 1959; SOMMER, 1965; APARICIO y GARCÍA CACHO, 1970; APARICIO et al., 1973 y 1975a; GARCÍA CACHO, 1973; LÓPEZ RUIZ et al., 1975; APARICIO y BELLIDO, 1976; APARICIO y GALÁN, 1978) están

a favor de una posible edad cámbrica. Se apoyan en la perfecta concordancia de estas series con las datadas como ordovícicas y en la equivalencia con otras series pelítico-calcáreas del Cámbrico Inferior del Macizo Hespérico.

Finalmente, algunos autores consideran que no existen criterios suficientes para establecer la edad de estos materiales y los denominan simplemente preordovícicos (SCHAFFER, 1969; FUSTER y MORA, 1970; FUSTER y GARCÍA CACHO, 1970; BABIN, 1971; PEINADO, 1973, y CASQUET, 1975).

En cuanto a la naturaleza de las formaciones glandulares, existen varias hipótesis:

HEIM (1952), FEBREL et al. (1958), FUSTER y FEBREL (1959), SOMMER (1965), APARICIO y GARCÍA CACHO (1970), GARCÍA CACHO (1973), PEINADO (1973), LÓPEZ RUIZ et al. (1975) y APARICIO et al. (1975a) interpretan que estas rocas tienen un origen metamórfico y que derivan de una serie sedimentaria pelítico-samítica por un proceso de blastesis metamórfica. PEINADO (op. cit.) no descarta la posibilidad de que existan materiales ortoderivados dentro de los de mayor grado metamórfico.

Otro grupo de autores considera que las rocas originales de los gneises glandulares son, en unos casos, granitos porfídicos (WAARD, 1950; CAPOTE, 1973; BISCHOFF et al., 1973; FERNÁNDEZ CASALS, 1974 y 1976), y en otros, series de naturaleza vulcano-sedimentaria (PARGA et al., 1964; SCHAFFER, 1969; SOERS, 1972; CAPOTE, 1973; BISCHOFF et al., 1973; FERNÁNDEZ CASALS, 1974 y 1976; NAVIDAD, 1975, y NAVIDAD y PEINADO, 1977).

CAPOTE et al. (1977) concluyen que en el Sistema Central se pueden distinguir tres complejos anteordovícicos:

El superior es una formación de naturaleza metasedimentaria, que se apoya sobre un complejo vulcano-sedimentario (gneises de Hiendelaencina, gneises de la Berzosa) probablemente equivalente al «Ollo de Sapo» del NW de la península. Localmente bajo esta formación afloran algunos metasedimentos.

El tercer complejo gneísico ocupa los niveles estructurales más profundos y está constituido por dos formaciones: una heterogénea, con metasedimentos asociados, y otra homogénea, con escasa o ninguna intercalación metasedimentaria.

La formación heterogénea (mármoles, rocas calcosilicatadas, metagrauwacas, cuarcitas y gneises leucocratos asociados a gneises máficos macroglandulares) ha sido estudiada por NAVIDAD y PEINADO (1977) en los macizos de El Escorial y El Caloco, y se le asigna un origen vulcano-sedimentario. La formación más homogénea está constituida por augengneises con escasas intercalaciones pelíticas. Debido a su estrecha relación con la formación heterogénea vulcano-sedimentaria, su origen se atribuye probablemente a macizos volcánicos homogéneos con algún granito intrusivo correlacionado.

Los granitoides del Sistema Central pertenecen a una serie de diferenciación de tendencia calcoalcalina, en la que están representados desde términos graníticos hasta cuarzdioríticos.

La cartografía de facies más completa es la realizada por APARICIO et al. (1975 b) y según estos autores, petrográficamente el conjunto está constituido en su mayor parte por rocas de tipo adamellítico y granodiorítico.

Con respecto a la edad absoluta de los granitoides del Sistema Central, los datos de geocronología que se poseen son escasos. MENDES et al. (1972) obtienen para los granitos de Navacerrada, San Rafael y Villacastín edades comprendidas entre 250 y 270 m.a. Por tanto, concluyen que los procesos de formación de estos granitos son más recientes que en otros sectores de la zona Centro-Ibérica y se situarían entre el final del Paleozoico y el Pérmico, coincidiendo con las últimas fases hercínicas.

Por último, la génesis de las rocas graníticas del Sistema Central se ha interpretado fundamentalmente por procesos de anatexia en relación con zonas de metamorfismo regional elevado (SAN MIGUEL et al., 1956; FEBREL et al., 1958; APARICIO, 1971; FUSTER et al., 1974; APARICIO et al., 1975 b).

Por el contrario, BARD et al. (1970) y CAPDEVILA et al. (1973) reconocen dos series graníticas: Una primera, muy restringida, formada por anatexia y relacionada con el metamorfismo regional, y otra segunda, que constituye el gran batolito del Sistema Central, y que es posterior al paroxismo del metamorfismo regional. Su emplazamiento ha sido precedido por productos gabroideos y dioríticos (precursores básicos), que se encuentran como enclaves en los granitos.

En contraste con esta opinión, APARICIO et al. (1975 b) indican la ausencia de stocks y enclaves de naturaleza gabroidea o/y norítica en el Sistema Central, resaltan el carácter sincinemático de las facies graníticas foliadas y consideran que la génesis de las rocas graníticas está en conexión directa con el desarrollo del metamorfismo regional.

FUSTER et al. (1974) suponen que durante la primera etapa metamórfica pudieron producirse anatexias parciales, pero la posibilidad de ascenso y emplazamiento de masas graníticas estaría limitada por la profundidad de generación de fluidos graníticos (bajo gradiente geotérmico). Durante la segunda etapa metamórfica, cuando aumentan los gradientes geotérmicos, los procesos de anatexia se generalizan y avanzan a niveles corticales superiores, aumentando las posibilidades de ascenso y emplazamiento de rocas graníticas. Por tanto, la génesis de las rocas graníticas estaría en relación, fundamentalmente, con la segunda etapa metamórfica de bajas presiones y gradientes geotérmico alto.

A partir de estos magmas anatécicos adamellíticos-granodioríticos se generan los diferentes tipos de rocas graníticas por procesos de diferenciación (APARICIO et al., 1975 b).

#### 4. MINERALIZACIONES FILONIANAS

Los indicios y yacimientos de tipo filoniano de la Sierra de Guadarrama se han clasificado en base a su paragénesis. Se han distinguido siete grupos principales en función de los minerales mayoritarios que aparecen en cada caso. A su vez, algunos grupos se han subdividido en dos subgrupos:

1. GRUPO I: Filones con wolframita.  
Subgrupo 1: Filones con wolframita.  
Subgrupo 2: Filones con wolframita + sulfuros de Cu-Sn-Zn.
2. GRUPO II: Filones de cuarzo con casiterita.
3. GRUPO III: Filones con arsenopirita.  
Subgrupo 1: Filones con arsenopirita + sulfuros.  
Subgrupo 2: Filones con arsenopirita + sulfuros + sulfosales de Ag.
4. GRUPO IV: Filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn.
5. GRUPO V: Filones con sulfuros BPGC.



6. GRUPO VI: Filones con baritina.  
Subgrupo 1: Filones de baritina no mineralizados.  
Subgrupo 2: Filones de baritina con galena.
7. GRUPO VII: Filones de fluorita con galena.

En la figura 1 se ha representado la situación de las principales mineralizaciones filonianas de la Sierra de Guadarrama. Los números señalan las localidades más próximas a las mineralizaciones. De esta forma se podrán localizar más fácilmente las mineralizaciones a que se hace referencia en el texto.

#### MINERALIZACIONES FILONIANAS

1. Lozoyuela (Madrid).
2. Garganta de los Montes (Madrid).
3. Otero de Herreros (Segovia).
4. Moralzarlal (Madrid).
5. Manzanares el Real (Madrid).
6. Pedrezuela (Madrid).
7. Guadarrama (Madrid).
8. Colmenar Viejo (Madrid).
9. Hoyo de Manzanares (I) (Madrid).
10. Hoyo de Manzanares (II) (Madrid).
11. Hoyo de Manzanares (III) (Madrid).
12. Guadalix de la Sierra (I) (Madrid).
13. Guadalix de la Sierra (II) (Madrid).
14. Guadalix de la Sierra (III) (Madrid).
15. Guadalix de la Sierra (IV) (Madrid).
16. Bustarviejo (Madrid).
17. Oteruelo del Valle (Madrid).
18. Garganta de los Montes (Madrid).
19. Lozoyuela (Madrid).
20. El Cuadrón (Madrid).
21. San Rafael (Segovia).
22. Colmenar Viejo (Madrid).
23. Galapagar (Madrid).
24. Galapagar (Madrid).
25. Valdemorillo (Madrid).
26. Valdemorillo (Madrid).
27. Colmenarejo (Madrid).
28. Gargantilla de Lozoya (Madrid).
29. Canencia (Madrid).
30. Lozoya (Madrid).
31. Redueña (Madrid).
32. Guadalix de la Sierra (Madrid).
33. Collado Mediano (Madrid).
34. Colmenar del Arroyo (Madrid).
35. Fresnedillas (Madrid).
36. San Martín de Valdeiglesias (Madrid).

37. Navas del Rey (Madrid).
38. Navalagamella (Madrid).
39. Navalagamella (I) (Madrid).
40. Navalagamella (II) (Madrid).
41. Navalagamella (III) (Madrid).
42. Colmenar del Arroyo (I) (Madrid).
43. Colmenar del Arroyo (II) (Madrid).
44. Colmenar del Arroyo (III) (Madrid).

#### 5. MINERALIZACIONES FILONIANAS DE TEMPERATURA MEDIA-ALTA

Como se verá más adelante, las asociaciones mineralógicas de los grupos I, II y III, así como la presencia de ciertas texturas de desmezcla, indican que estas mineralizaciones se han depositado a temperatura media-alta.

##### 5.1. Grupo I: Filones con wolframita

Los filones con wolframita se han dividido en dos subgrupos: Filones cuyo componente fundamental es la wolframita, aunque puede estar acompañada de sulfuros como accesorios y filones con wolframita y sulfuros de Cu-Sn-Zn, que entran en la paragénesis como mayoritarios.

##### 5.1.1. Subgrupo 1: Filones con wolframita

El primer subgrupo es más abundante en la Sierra de Guadarrama (Tabla I).

TABLA I

Término	Coordenadas	Hoja 1:50.000
Lozoyuela ... ..	40° 53' 35''N 0° 01' 15''E	484
Garganta de los Montes ...	40° 54' 35''N 0° 00' 15''W	484
Otero de Herreros ... ..	40° 47' 25''N 0° 31' 25''W	507
Moralzarzal ... ..	40° 41' 55''N 0° 18' 18''W	508
Manzanares el Real ... ..	40° 42' 10''N 0° 11' 50''W	508
Pedrezuela ... ..	40° 43' 49''N 0° 00' 42''E	509

Estas mineralizaciones están constituidas por pequeños haces filonianos cuya dirección, buzamiento y potencia media se indican a continuación en la Tabla II.

TABLA II

	Dirección	Buzamiento	Potencia
Lozoyuela ... ..	N 100°E	75°S	0,5 a 1 m.
Garganta de los M.	N 75°E	75°S	1 m.
Otero de Herreros ...	N 100°E	80°-85°S	0,3 a 0,5 m.
Moralzarzal ... ..	N 160°E	80°-85°N	1 m.
Manzanares el Real.	N 35°E	80°-85°N	0,5 m.
Pedrezuela ... ..	N 45°E	50°N	0,5 m.

La explotación, ya abandonada, se llevó a cabo mediante zanjas y trincheras, siguiendo direcciones filonianas. En Manzanares el Real se realizaron abundantes rafas de exploración de dimensiones variables, por término medio 10 m. de longitud por 1,5 m. de anchura por 2 m. de profundidad.

La mineralización de Otero de Herreros se explotó mediante galerías, siguiendo la dirección del filón (N 110°E). En esta mina se están realizando desde el año 1976 pequeñas extracciones de mineral de forma intermitente. El mineral de tungsteno de interés económico es la wolframita; sin embargo, hacia el NW la corrida se enriquece considerablemente en scheelita.

#### *Naturaleza de la roca encajante*

Los filones con wolframita se localizan indistintamente en rocas metamórficas o graníticas.

En el primer caso (Garganta de los Montes, Lozoyuela, Pedrezuela) se trata de gneises migmatíticos muy replegados. Se caracterizan por una alternancia de bandas claras con cuarzo, feldespato y plagioclasa y bandas oscuras compuestas por biotita y sillimanita. Como minerales secundarios se encuentran clorita y moscovita, y como accesorios, apatito, circón y esfena granular sobre clorita. Cuando el gneis se encuentra cerca del granito aparece andalucita recristalizada tardía, probable producto de la superposición de un metamorfismo de contacto al regional.

Los filones que encajan en rocas graníticas (Moralzarzal, Manzanares el Real, Otero de Herreros) lo hacen en adamellitas biotíticas de grano medio. Su mineralogía está compuesta por cuarzo, feldespato potásico (ortosa o microclina), plagioclasa, biotita, y como accesorios apatito, circón, opacos y esfena. Como minerales secundarios se encuentran clorita, moscovita y sericita. Algunas veces los filones intragraníticos (Manzanares el Real,

Otero de Herreros) presentan corridas que se prolongan algunos metros en los gneises encajantes.

Asociados a estos filones con wolframita y con la misma dirección que ellos, es frecuente encontrar diques pegmoaplíticos (Manzanares el Real) y diques de pegmatitas (Lozoyuela) con cuarzo, feldespato potásico, moscovita y turmalina negra (chorlo).

#### *Mineralización: Descripción*

*Tipo:* «Otero de Herreros».

*Minerales Hipogénicos:* WOLFRAMITA, Scheelita, Pirita, Arsenopirita, Calcopirita, Pirrotina, Bismutina y Bismuto.

*Minerales Supergénicos:* Marcasita, Goethita.

*Minerales de la ganga:* CUARZO.

#### *Particularidades:*

Lozoyuela: Pirrotina y arsenopirita en cantidades muy accesorias.

Garganta de los Montes: Ausencia de sulfuros.

Moralzarzal: Presencia de Molibdenita.

Manzanares el Real: Arsenopirita en cantidades muy accesorias y moscovita como ganga.

Pedrezuela: Presencia de casiterita.

Este tipo de filones presenta wolframita y cuarzo como minerales fundamentales. Los sulfuros se encuentran en forma minoritaria, incluidos en fisuras dentro de la wolframita.

*WOLFRAMITA:* Cristales tabulares bien desarrollados, incluidos en cuarzo. Presentan una marcada fracturación ortogonal, a favor de la cual la scheelita ha reemplazado a la wolframita.

*Scheelita:* Aparece siempre reemplazando a la wolframita a favor de fisuras y bordes de grano (Foto 1). En algunos filones (Manzanares el Real, Lozoyuela, Garganta de los Montes) el proceso de scheelitización es incipiente; sin embargo, en otros (Moralzarzal, Otero de Herreros) llega a ser considerable. Por medio del analizador de imagen microvideomat ha sido posible calcular estadísticamente el tanto por ciento de wolframita scheelitizada (Tabla III).

*Molibdenita:* Se encuentra sólo en la mineralización de Moralzarzal, presentando hábito laminar típico. Debido a su alta plasticidad aparece fuertemente deformada (Foto 2).

TABLA III

	% de wolframita scheelitizada
Lozoyuela ... ..	0.9
Garganta de los Montes ... ..	1.5
Otero de Herreros ... ..	10.0
Moralzarzal ... ..	15.0
Manzanares el Real ... ..	0.5
Pedrezuela ... ..	0.5

*Casiterita:* Únicamente se encuentra casiterita en la mineralización de Pedrezuela. Aparece en pequeños granos subidiomorfos incluidos en la wolframita.

*Pirita:* En el yacimiento de Otero de Herreros la pirita aparece irregularmente distribuida. Rellena fisuras dentro de la wolframita y forma agregados de pequeños cristales subidiomorfos. Se encuentra parcialmente transformada en marcasita.

*Arsenopirita:* Su presencia está más generalizada que la de la pirita en este tipo de mineralizaciones (Lozoyuela, Otero de Herreros, Moralzarzal, Manzanares el Real). En general, aparece como granos redondeados de muy pequeño tamaño incluido en fisuras dentro de la wolframita. En la mineralización de Otero de Herreros la arsenopirita se encuentra en mayores proporciones.

*Calcopirita:* Aparece en pequeños granos redondeados incluidos en la wolframita. En la mayoría de los filones no es posible observar sus relaciones respecto de otros sulfuros. Sin embargo, en la mineralización de Otero de Herreros se observa cómo la calcopirita rellena huecos y fisuras dentro de la pirita y arsenopirita, lo que indica que su deposición es posterior a estos minerales.

*Pirrotina:* En Otero de Herreros la pirrotina se encuentra en cantidades apreciables, incluida en huecos y fisuras dentro de la arsenopirita y pirita. Sin embargo, en el filón de Lozoyuela la pirrotina aparece sólo en forma de diminutos granos incluidos en la wolframita.

*Bismuto y Bismutina:* Estos dos minerales aparecen sólo en Otero de Herreros y en cantidades muy accesorias. Ambos están siempre asociados e incluidos dentro de la wolframita.

*Minerales supergénicos:* Los minerales de origen supergénico adquieren escaso desarrollo; no obstante, se observa marcasita y covellina susti-

tuyendo a pirita y calcopirita, respectivamente. En algunos casos se aprecia una incipiente oxidación de la wolframita a goethita.

*Minerales de la ganga:* La ganga fundamental que acompaña a la mineralización en este tipo de filones es el cuarzo. Probablemente hay varias generaciones de cuarzo, aunque haya existido sílice a lo largo de toda la deposición. Claramente se encuentra un cuarzo muy temprano, en pequeños granos redondeados, incluidos en la wolframita.

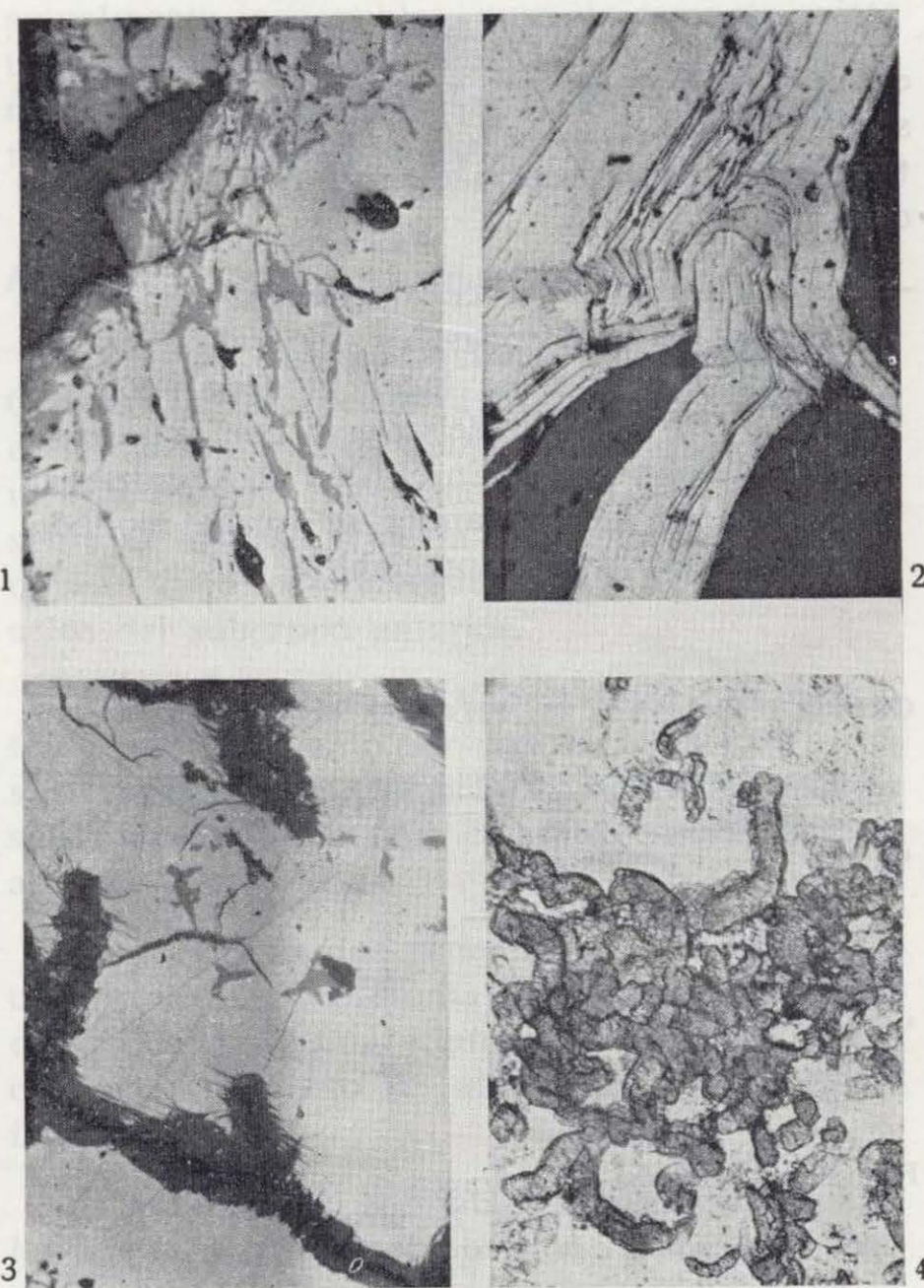


Foto 1.—Scheelita (gris) reemplazando a wolframita (gris claro) a favor de fisuras y bordes de grano. L. Refl. LN  $\times$  100. Mineralización de Otero de Herreros.

Foto 2.—Molibdenita fuertemente deformada. Obsérvese el pleocroísmo de reflexión. L. Refl. LN  $\times$  100. Mineralización de Moralzarzal.

Foto 3.—Pequeñas «estrellas» de estannina (gris claro) en calcopirita (blanco). En la parte inferior una fisura rellena de neodigenita, covellina y goethita, que han reemplazado a la calcopirita. L. Refl. LN  $\times$  100. Mineralización de Cabeza Lijar.

Foto 4.—Clorita vermicular, que constituye un mineral de ganga. L. Transm. LN  $\times$  125. Mineralización de Colmenar Viejo.

Asimismo, otra generación de cuarzo, posiblemente la más abundante, rodea los cristales de wolframita. Al final de la deposición aparece un cuarzo tardío de más baja temperatura que rellena cavidades.

En algunas mineralizaciones la moscovita puede considerarse como ganga de la mineralización. Se trata de una moscovita tardía, posterior al cuarzo y a la wolframita.

*Caracteres metalogénicos: Paragénesis y sucesión mineral*

Los filones con wolframita presentan unos esquemas de paragénesis y sucesión mineral muy similares (figs. 2, 3, 4, 5, 6 y 7). La diferencia entre ellos es la presencia de sulfuros o de molibdenita.

— La wolframita aparece al comienzo de la deposición en casi todas las mineralizaciones y posteriormente tiene lugar la deposición del cuarzo. El depósito del cuarzo continúa hasta el final del proceso. En el filón de Moralarzal, después de la wolframita se forma molibdenita en cantidades apreciables.

**GRUPO I (Subgrupo 1): FILONES CON WOLFRAMITA.**

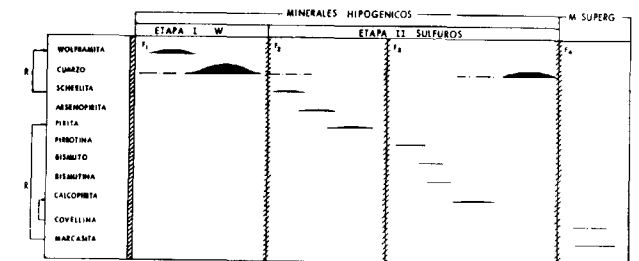


Figura 2.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Otero de Herreros).

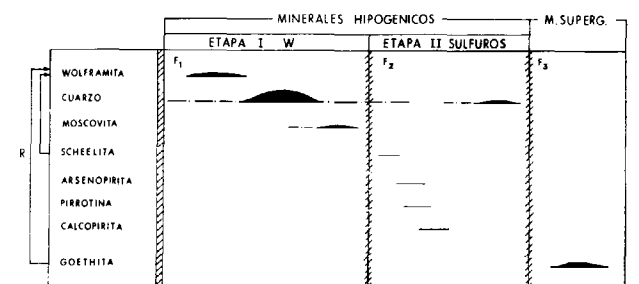


Figura 3.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Lozoyuela).

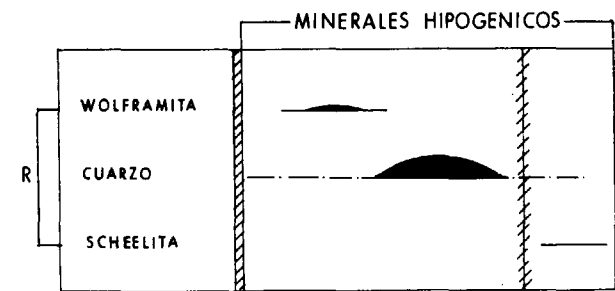


Figura 4.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Garganta de los Montes).

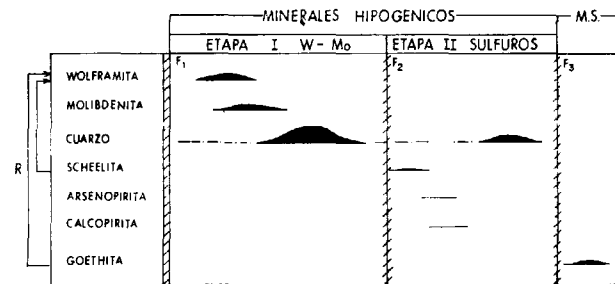


Figura 5.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Moralarzal).

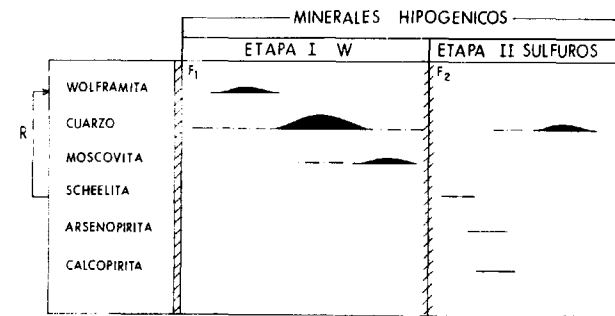


Figura 6.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Manzanares el Real).

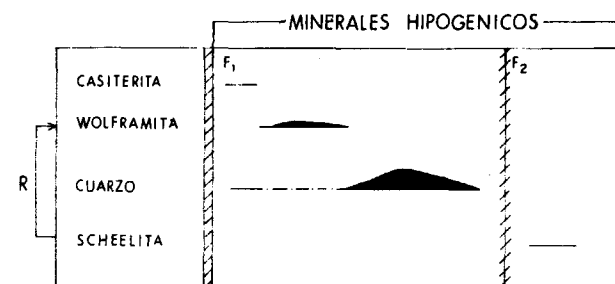


Figura 7.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Pedrezuela).

— Después de la deposición de estos minerales se produce una etapa de brechificación ( $F_2$ ), que marca el comienzo de la fase sulfurada y es correlacionable en todas las mineralizaciones. Al comienzo de esta fase, el W que aún queda en el medio se deposita en forma de scheelita y lo hace reemplazando en parte a la wolframita.

— La secuencia de sulfuros sólo es observable en la mineralización de Otero de Herreros (figura 2), donde estos minerales se han depositado en mayores proporciones. La arsenopirita y la pirita marcan el comienzo de la fase de deposición de sulfuros, produciéndose posteriormente una etapa de brechificación ( $F_3$ ) que las fractura. A favor de estas fisuras se introducen el resto de los sulfuros (pirrotina, bismutina y calcopirita).

— El desarrollo de minerales supergénicos es escaso en este tipo de filones. Su deposición se realiza a favor de una última etapa de reajustes ( $F_4$ ) y sólo se observa goethita, como consecuencia de la oxidación de la wolframita, y covellina y marcasita, que se forman a expensas de la calcopirita y pirita, respectivamente.

Hasta aquí no se ha hecho referencia a la casiterita existente en el filón de Pedrezuela. Sus relaciones con la wolframita no están claras, pero dado su carácter idiomorfo es posible que se trate de una casiterita temprana, cuya formación sería anterior a la de la wolframita.

**5.1.2. Subgrupo 2: Filones con wolframita + sulfuros de Cu-Sn-Zn**

Se han reconocido dos mineralizaciones de estas características (Tabla IV).

TABLA IV

Término	Coordenadas	Hoja 1:50.000
Guadarrama ... ..	40° 41' 15"N	508
(«Cabeza Lijar») ... ..	0° 28' 30"W	
Colmenar Viejo ... ..	40° 39' 12"N	534
	0° 09' 10"W	

La primera de estas dos mineralizaciones está situada en la cara sur del monte de Cabeza Lijar y se accede a ella directamente por una carretera que parte del Alto de los Leones. Actualmente la

explotación, que se realizó por el wolframio, está abandonada y la entrada a la galería (a 100 m. por debajo del camino) se encuentra cegada. En superficie, en una pequeña calicata, se ha podido observar uno de los filones, de dirección N 120°E/85°N, con una potencia de 0.3 m. Asimismo, se encuentran pequeños filoncillos de cuarzo con wolframita, molibdenita y calcopirita en bloques de granito extraídos. En ellos se observa una disposición simétrica de la wolframita y la moscovita en los bordes de los filones de cuarzo.

En la mina de Colmenar Viejo las labores son actualmente inaccesibles, pues únicamente existe un pozo cegado y una pequeña escombrera en la que se han tomado muestras para el estudio petrográfico y metalogénico.

*Naturaleza de la roca encajante*

De las dos mineralizaciones estudiadas, la de Cabeza Lijar se encuentra en una leucoadamellita de grano fino y la de Colmenar Viejo en una adamellita biotítica de grano medio. No se insiste sobre la naturaleza de la roca encajante de Colmenar Viejo por presentar caracteres análogos a los del subgrupo anterior.

La leucoadamellita de Cabeza Lijar está constituida principalmente por cuarzo, feldespato potásico (microclina), plagioclasa, moscovita, biotita subordinada y granates; como accesorios figuran apatitos y circón.

Se encuentran dos generaciones de moscovita, una primera que presenta hábitos tabulares bien desarrollados, y una segunda tardía, muy blástica, como producto de alteración de biotitas y feldespatos.

Los granates se presentan en pequeños cristales idiomorfos y su composición varía (según Aparicio et al., 1975 b) entre distintos valores de la relación almandino/espessartina. Asimismo, según estos autores no existe conexión ninguna entre estos granates y los metamórficos (LÓPEZ RUIZ et al., 1975) y concluyen que su génesis es de naturaleza ortomagmática.

*Mineralización: Descripción*

*Tipo:* «Cabeza Lijar» (Guadarrama).  
*Minerales Hipogénicos:* WOLFRAMITA, Schee-

lita, Molibdenita, Bismuto, Bismutina, Casiterita, Pirita, CALCOPIRITA, Blenda, Estannina.

**Minerales Supergénicos:** Neodigenita, Covellina, Malaquita, Goethita.

**Minerales de la ganga:** CUARZO, Moscovita, Sericita, Clorita.

**Particularidades:**

Colmenar Viejo: Presencia de galena, cubanita, pirrotina y arsenopirita. Ausencia de estannina.

**WOLFRAMITA:** Cristales tabulares bien desarrollados, que aparecen incluidos en el cuarzo. Se presenta fuertemente fracturada, fracturas que aprovechan los restantes minerales para introducirse. Muestra una incipiente oxidación a goethita.

**Molibdenita:** Cristales muy deformados de hábito laminar típico.

**Scheelita:** Aparece de forma accesoria sustituyendo a la wolframita por los bordes de grano.

**Bismuto y Bismutina:** En la mineralización de Cabeza Lijar el bismuto y la bismutina se encuentran asociados a la molibdenita. Sin embargo, en

Colmenar Viejo estos dos minerales se asocian a la galena, sobre todo el bismuto. Por tanto, es posible que el bismuto de Colmenar Viejo sea más tardío que el de Cabeza Lijar. En este caso el bismuto se depositaría en la etapa de Cu-Sn-Zn y en Colmenar Viejo en la etapa de Pb-Zn (fig. 8).

**Casiterita:** Es un mineral accesorio en este tipo de filones. Aparece en forma de granos redondeados o cristales subaciculares, incluidos en calcopirita.

**CALCOPIRITA:** Se pueden diferenciar dos generaciones de calcopirita:

- La primera, Cp I, es muy escasa y se encuentra en forma de pequeñas «gotas» o emulsiones en la blenda. Esta textura se ha interpretado como una exsolución de calcopirita en blenda (BUERGUER, 1934).
- La segunda, Cp II, corresponde a una calcopirita fisural, que rellena fracturas en la wolframita.

En la mineralización de Cabeza Lijar la calcopirita II presenta laminillas orientadas de estannina (intercrecimientos mirmequíticos) y peque-

GRUPO I (Subgrupo 2): FILONES CON WOLFRAMITA+SULFUROS DE Cu-Sn-Zn.

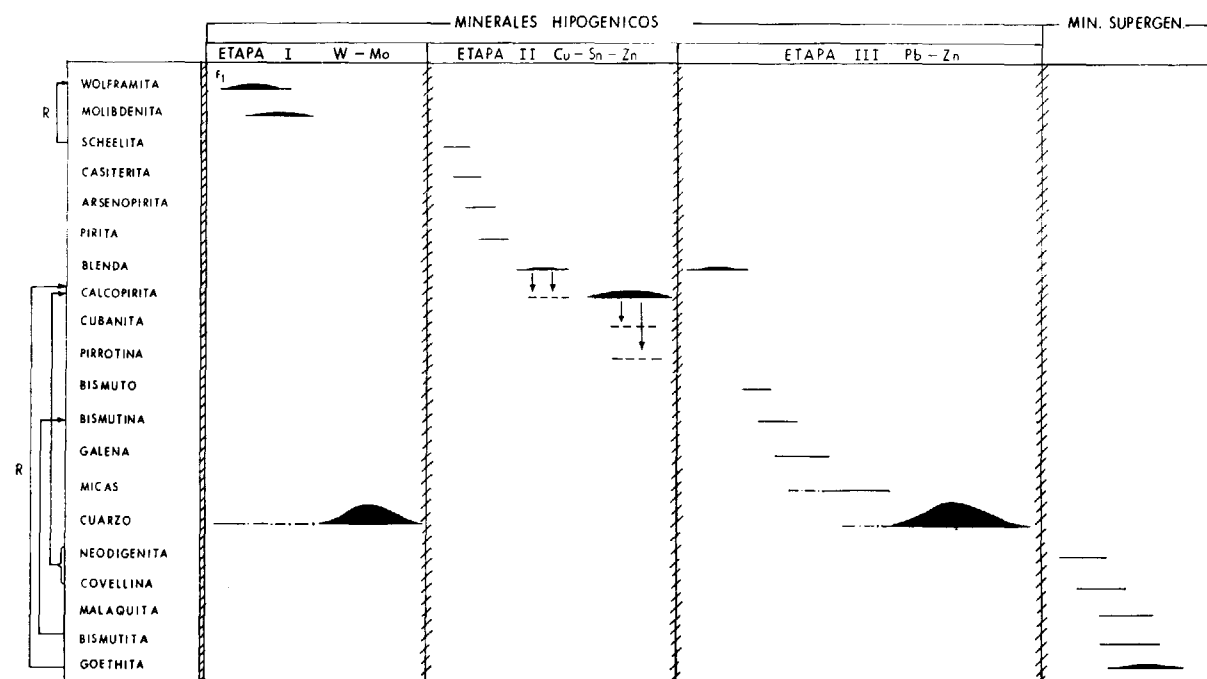


Figura 8.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Colmenar Viejo).

ñas «estrellas» de blenda y estannina (Foto 3). Esta textura se ha interpretado como un proceso de exsolución (RAMDOHR, 1969).

Es notable que en Colmenar Viejo esta calcopirita II contiene finas laminillas de pirrotina y cubanita. Esta textura se ha interpretado también como producto de exsolución.

**Blenda y Estannina:** En la mineralización de Cabeza Lijar ambos minerales se encuentran estrechamente asociados, apareciendo, al igual que la calcopirita, en dos generaciones.

- La primera generación se corresponde con la primera de calcopirita (Cp I). Aparece en granos con bordes irregulares, incluidos en calcopirita II, en los que la blenda y la estannina se encuentran intercrecidas.
- La segunda generación, a la que ya se ha hecho referencia anteriormente, es aquella en la que la blenda y estannina aparecen como laminillas orientadas o finas «estrellas» en calcopirita II. Su formación es simultánea con la de la calcopirita II y debida a un proceso de desmezcla.

En el filón de Colmenar Viejo no se ha encontrado estannina. De igual forma que en Cabeza Lijar, se encuentran dos generaciones de blenda. La primera contiene emulsiones de calcopirita (Cp I) y es correlacionable con la primera generación de blenda de Cabeza Lijar. Sin embargo, la segunda generación no es correlacionable con la de Cabeza Lijar. Es una blenda sin inclusiones, posterior a la calcopirita II (rellena fisuras dentro de ella) y asociada a galena. Se trata, pues, de una blenda de más baja temperatura formada durante una etapa metalogénica más tardía de Pb-Zn.

**Cubanita y Pirrotina:** En Colmenar Viejo la calcopirita II contiene finas lamelas de cubanita y pirrotina. Su presencia se ha interpretado como producto de exsolución. A alta temperatura la calcopirita estaría en solución sólida con calcopirrotina. Al descender la temperatura la calcopirrotina es inestable y se descompone en cubanita. El exceso de FeS precipita como pirrotina.

**Galena:** La galena aparece exclusivamente en Colmenar Viejo. Se encuentra asociada a blenda de segunda generación y a bismuto. Su deposición es fisural a favor de los minerales previamente formados.

**Minerales Supergénicos:** Los minerales de origen supergénico adquieren en este tipo de filones un cierto desarrollo, reemplazando a los sulfuros de Cu-Sn-Zn.

La calcopirita es atravesada por una red irregular de fisuras, a favor de la cual han penetrado neodigenita, covellina y goethita, reemplazando en parte a la calcopirita. De esta forma se constituye una textura típica de los procesos de enriquecimiento supergénico.

La neodigenita, menos abundante, se dispone en la parte externa de las fisuras sustituyendo a la calcopirita en forma de finas ramificaciones. Más internamente en la fisura se encuentra covellina en forma de pequeños cristales plumosos. En el centro de las fisuras se ha depositado goethita con marcada textura coliforme. Se trata, pues, de un relleno de fisuras simétrico, típico de los yacimientos hidrotermales. Como se verá más adelante, es el mismo que afecta a los filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn (Grupo IV). Este reemplazamiento afecta no sólo a la calcopirita, sino también a la blenda y estannina.

En la mineralización de Colmenar Viejo existe además un pequeño reemplazamiento de bismutina por bismutita.

**Minerales de la ganga:** La ganga acompañante de estas mineralizaciones está constituida fundamentalmente por cuarzo y micas. Al igual que el subgrupo 1 (filones con wolframita) es posible diferenciar varias generaciones de cuarzo. Un cuarzo temprano, muy escaso, incluido en la wolframita; otro que rodea a la wolframita y es posterior a ella y un cuarzo tardío, el más abundante, que se introduce en fisuras dentro de la mineralización.

Las micas, agregados de moscovita, sericita y clorita, son abundantes y acompañan en su mayor parte a la calcopirita. En Cabeza Lijar la moscovita se dispone en forma regular en los bordes de los filones con cuarzo, wolframita y calcopirita. En Colmenar Viejo la mica que acompaña fundamentalmente a la calcopirita es la clorita con estructuras fibroso-radiadas y vermiculares (Foto 4), típicamente hidrotermales.

En Cabeza Lijar la wolframita aparece a veces acompañada de granates de reducido tamaño (2 a 4 mm.), que se disponen en el borde de los filones mineralizados. Como ya se ha indicado

anteriormente, la leucoadamellita encajante contiene granates. La composición de los granates de las rocas graníticas de la Sierra de Guadarrama presentan un amplio espectro de variación, aunque en la mayoría de los casos son dominantes las variedades almandino y espessartina (LÓPEZ RUIZ y GARCÍA CACHO, 1975). Estos autores ponen de manifiesto el origen ígneo de estos minerales a partir de un magma granítico. Es de suponer que los granates asociados a la wolframita de Cabeza Lijar son un producto de asimilación de la roca encajante, que han sido englobados durante la formación de la mineralización.

#### Caracteres metalogénicos: Paragénesis y sucesión mineral

Del estudio de la paragénesis y sucesión mineral en Cabeza Lijar (fig. 9) se deducen las siguientes conclusiones:

- Se observan dos etapas metalogénicas bien definidas: una primera de W-Mo y otra posterior de sulfuros de Cu-Sn-Zn.
- Los primeros minerales en depositarse son wolframita y molibdenita. Posteriormente a su formación se produce una fase de brechificación ( $F_2$ ), que los fractura.

— Después de esta fase ( $F_2$ ) se deposita scheelita, reemplazando en parte a la wolframita, y sulfuros de Cu-Sn-Zn. Dentro de la etapa de sulfuros, los primeros minerales en depositarse son bismuto y bismutina, así como pequeñas cantidades de casiterita y pirita. La deposición de la estannina y blenda es simultánea, produciéndose a su vez emulsiones de calcopirita (Cp I) dentro de la blenda. Posteriormente se deposita la calcopirita mayoritaria (Cp II) y en ella se producen desmezclas de estannina y blenda en forma de «estrellas» o laminillas orientadas.

— Las micas y el cuarzo son los últimos minerales hipogénicos en depositarse. Posteriormente tiene lugar el comienzo de etapa supergénica.

— La deposición de los minerales supergénicos se efectúa a expensas del reemplazamiento de la calcopirita, blenda y estannina. A favor de la red de fisuras producida durante la fase  $F_3$  se introducen neodigenita, covellina, malaquita y goethita.

Del estudio de la paragénesis y sucesión mineral en Colmenar Viejo (fig. 9) se deducen las siguientes conclusiones:

— Se observan tres etapas metalogénicas: una primera W-Mo, otra de Cu-Sn-Zn y una última de Pb-Zn.

— En la primera etapa se depositan wolframita y molibdenita. Posteriormente a la formación de estos minerales se produce una fase de brechificación ( $F_2$ ), que marca el comienzo de la etapa de sulfuros de Cu-Sn-Zn. Esta fase es correlacionable con la  $F_2$  de Cabeza Lijar. Durante esta etapa de Cu-Sn-Zn se depositan scheelita, casiterita, arsenopirita, pirita, blenda y por último calcopirita mayoritaria. Simultáneamente a esta calcopirita se producen exsoluciones de cubanita y pirrotina.

— Posteriormente se depositan los minerales de la etapa Pb-Zn, la cual comienza con blenda de segunda generación, bismuto, bismutina y por último galena. Con el cuarzo y las micas termina la deposición de minerales hipogénicos.

— De igual forma que en Cabeza Lijar la etapa  $F_4$  marca el comienzo de la deposición de minerales supergénicos: neodigenita, covellina, malaquita, bismutita y goethita.

Como se puede observar, las dos mineralizaciones —Cabeza Lijar y Colmenar Viejo— presentan caracteres metalogénicos análogos. La diferencia entre ambas se encuentra únicamente en la tercera etapa (Pb-Zn) de Colmenar Viejo, ausente en Cabeza Lijar.

#### 5.2. Grupo II: Filones de cuarzo con casiterita

La casiterita, como mineral acompañante en diversas paragénesis del Guadarrama, es relativamente frecuente. Aparece asociada a sulfuros de Cu-Sn-Zn, arsenopirita, wolframita y galena. Sin embargo, en este grupo (filones de cuarzo con casiterita) la casiterita aparece exclusivamente con cuarzo.

En condiciones favorables, estos filones han dado lugar a concentraciones de estaño de tipo aluvionar (pequeños aluviones), que han sido susceptibles de explotación en algún momento determinado y pueden llegar a serlo dependiendo de las condiciones de mercado.

Estos filones se encuentran situados en los alrededores de Hoyo de Manzanares (Tabla V).

TABLA V

Término	Coordenadas	Hoja 1:50.000
Hoyo de Manzanares (I) ...	40° 36' 38"N 0° 11' 22"W	533
Hoyo de Manzanares (II) ...	40° 36' 34"N 0° 12' 38"W	533
Hoyo de Manzanares (III).	40° 36' 10"N 0° 10' 33"W	533

La dirección principal de los haces filonianos en las tres mineralizaciones es próxima a N 45°E, aunque también se encuentran algunos filones N-S. La potencia media está comprendida entre 10 y 15 cm.

#### Naturaleza de la roca encajante

Los filones de cuarzo con casiterita se localizan siempre en rocas graníticas, que se pueden clasificar como adamellitas biotíticas porfídicas.

Los fenocristales de feldespato potásico presentan comúnmente la macla en enrejado de la microclina sobrepuesta a la de Carlsbad, formando microclinas cuadrangulares bien desarrolladas. También se encuentran fenocristales de ortosa. Ambas variedades muestran gran cantidad de pertitas tipo «vein» y «patchy». En ocasiones, parece que en lugar de un producto de desmezcla son debidas a un proceso de sustitución de microclina por plagioclasa. Los fenocristales de feldespato potásico engloban cuarzo, biotita y plagioclasa. También se encuentran texturas micrográficas de cuarzo-feldespato potásico.

La biotita se presenta en un estado más o menos avanzado de alteración en clorita y moscovita. La transformación de biotita en clorita genera feldespato potásico (reacción de Chayes) y esfena granular. Como minerales accesorios figuran apatitos y circones incluidos en biotitas.

#### Mineralización: Descripción

La mineralogía de este tipo de filones es muy simple. Está compuesto por CASITERITA, CUARZO y pirita muy minoritaria. La casiterita se presenta en granos subidiomorfos, cataclásticos y generalmente maclados. El cuarzo rodea a la casiterita y se introduce en ella a favor de fisuras. Acompañando al cuarzo en estas fisuras aparecen pequeños cristales de pirita, a veces idiomorfos.

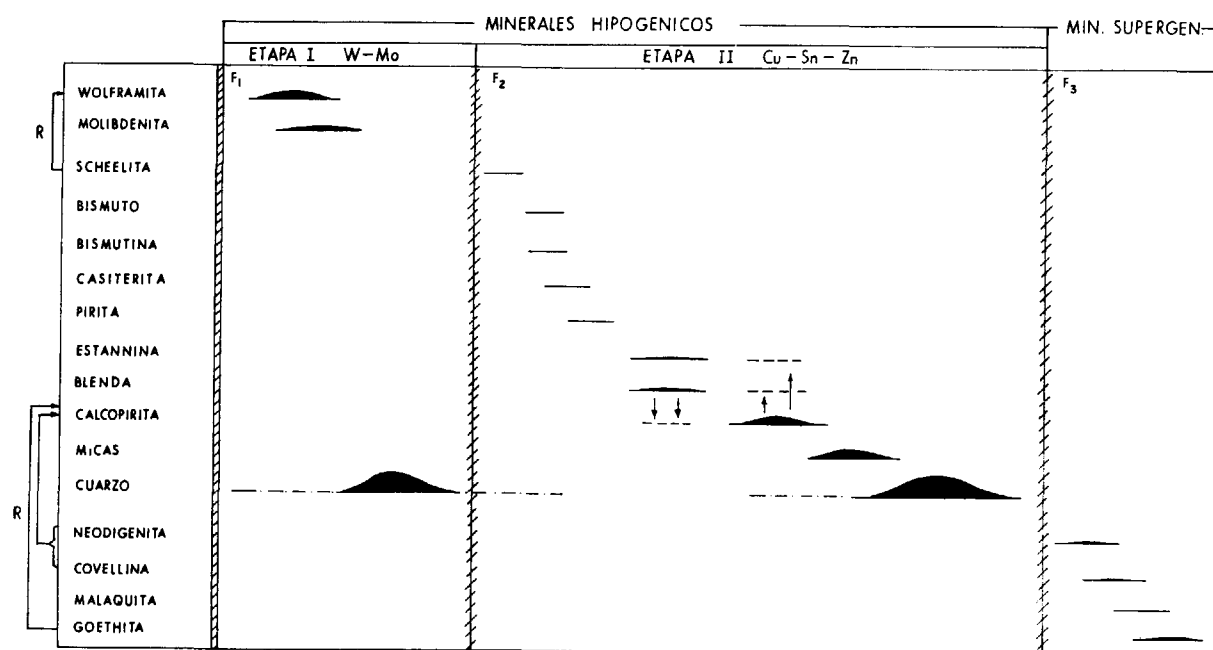


Figura 9.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral. Cabeza Lijar (Guadarrama).

### 5.3. Grupo III: Filones con arsenopirita

La arsenopirita es un mineral muy abundante en la Sierra de Guadarrama. Aparece en filones con cuarzo, pirita y otros minerales. Por ello se ha subdividido este grupo en dos subgrupos:

#### 5.3.1. Subgrupo 1: Filones con arsenopirita + sulfuros

TABLA VI

Término	Coordenadas	Hoja 1:50.000
Guadalix de la Sierra (I) ...	40° 45' 52"N 0° 00' 18"W	509
Guadalix de la Sierra (II) ...	40° 45' 35"N 0° 02' 19"W	509
Guadalix de la Sierra (III).	40° 46' 06"N 0° 01' 56"W	509
Guadalix de la Sierra (IV).	40° 49' 08"N 0° 03' 48"W	509

Actualmente todas estas minas están inactivas, por lo que sólo ha sido posible encontrar muestras en la I y II. Se han establecido comparaciones con la mineralogía dada por CANEPA (1968) para las mineralizaciones III y IV.

La mineralización I se encuentra asociada a dos diques de pegmatitas, cuya potencia oscila entre 1 y 2 m. de dirección N 60°E y separados entre sí unos 200 m. Siguiendo esta dirección se han realizado dos calicatas de exploración. La mineralización se dispone de forma discontinua y está restringida a los bordes de los filones.

La mineralización II está constituida por numerosos filoncillos de cuarzo de diversa orientación. En ellos la metalización aparece en forma de «nidos» de reducido tamaño.

El indicio III está constituido por unas antiguas labores con un pozo cubierto y una pequeña escombrera en la que no ha sido posible encontrar muestras de la mineralización.

El indicio IV lo constituyen unos filoncillos irregulares de cuarzo, en los que sólo es posible observar un moteado de minerales metálicos.

#### Naturaleza de la roca encajante

Los filones de arsenopirita con sulfuros se encuentran siempre en gneises migmatíticos o es-

quistosos, a veces muy micáceos (mineralización II de Guadalix de la Sierra).

Los primeros están compuestos fundamentalmente por cuarzo, feldespatos potásico, en su mayor parte microclina peritítica, plagioclasa y cordierita subordinada. Aparecen bandas constituidas por biotita y sillimanita fibrosa con textura «afieltrada» y como accesorios apatitos y circones.

Los gneises esquistosos están constituidos en su mayor parte por cuarzo y biotita, que se orienta según una foliación marcada. Acompañando al cuarzo se encuentran pequeños granos de feldespato potásico y plagioclasa. Asimismo, aparece algo de moscovita, que ha crecido en continuidad con la biotita, apatitos dispersos, pequeños circones incluidos en biotita y turmalina accesorias.

La mineralización I de Guadalix de la Sierra aparece asociada a diques de pegmatitas de dirección N 60°E. Estas pegmatitas tienen como componentes fundamentales cuarzo, feldespato potásico, moscovita y turmalina negra.

#### Mineralización: Descripción

Tipo: «Guadalix de la Sierra» (I).

**Minerales Hipogénicos:** ARSENOPIRITA, PIRITA, WOLFRAMITA, CASITERITA, Scheelita, Blenda, Calcopirita, Estannina, Bismutina, Pirrotina.

**Minerales Supergénicos:** Covellina, Escorodita.

**Minerales de la ganga:** CUARZO.

#### Particularidades:

Guadalix (II): Ausencia de wolframita y casiterita.

Guadalix (III): Presencia de galena.

Guadalix (IV): Presencia de galena.

**ARSENOPIRITA:** La arsenopirita aparece en cristales muy fracturados, cataclásticos y a veces muy heterométricos. Se encuentran cristales subidiomorfos con buenas secciones rómbicas en ángulo agudo. Es importante la sustitución de arsenopirita por escorodita.

**PIRITA:** Cristales subidiomorfos o idiomorfos que se disponen en el contacto entre el cuarzo y la arsenopirita, a la cual sustituye. Su presen-

cia, de forma principal o accesoria, es constante en este tipo de filones.

**WOLFRAMITA:** Este mineral se encuentra, junto con la casiterita y la scheelita, sólo en uno de los filones estudiados, el (I). En este filón la wolframita se presenta en cristales tabulares bien desarrollados incluidos en cuarzo. Presenta una marcada fisuración ortogonal y en ella se observan inclusiones de arsenopirita, calcopirita, pirita y bismutina (Foto 5).

**CASITERITA:** Se presenta en forma de cristales subidiomorfos prismáticos, típicos de alta temperatura, a veces maclados (Foto 6). Los huecos y fisuras dentro de ella aparecen rellenos de calcopirita.

**Scheelita:** Sustituye incipientemente a la wolframita. Este reemplazamiento se verifica a favor del sistema de fisuras que afecta a la wolframita.

**Calcopirita:** En la mayoría de los yacimientos de este tipo se observan dos generaciones de calcopirita:

- Una primera (Cp I), en forma de pequeñas «gotas» en la blenda. Esta textura es debida posiblemente a un proceso de exsolución de calcopirita en blenda. En el filón II de Guadalix las inclusiones de calcopirita en blenda son muy irregulares, de tal modo que no parece que se deban a fenómenos de desmezcla (Foto 7).
- Una segunda generación de calcopirita (Cp II) posterior a la primera, rellena huecos y fisuras en la arsenopirita.

**Blenda:** Sustituye frecuentemente a la arsenopirita (Foto 8). A veces este reemplazamiento se verifica del centro al borde de los granos. Su asociación con la calcopirita y estannina es constante.

**Estannina:** La estannina aparece asociada en intercrecimiento simple con la blenda o incluida en forma de granos redondeados en la calcopirita. En la mineralización I, CANEPA (1968) determina, con dudas, algunos granos de color marrón-rojado, muy anisótrpos, como la hexaestannina ( $Cu_6FeSnS_8$ ) descrita por RAMDOHR (1968). Sin embargo, la microsonda electrónica ha revelado que en la composición de este mineral sólo entran a formar parte S y Fe. De ello se deduce que se trata de pirrotina.

**Bismutina:** Aparece únicamente en el filón I de

Guadalix. Rellena huecos y fisuras dentro de la wolframita y se encuentra incluida en calcopirita. No se ha observado la presencia de bismuto nativo.

**Pirrotina:** Como ya se ha indicado anteriormente, se presenta en granos redondeados o irregulares incluidos en calcopirita. En la mineralización III la pirrotina está estrechamente asociada a la cubanita. Esto puede interpretarse como el resultado de la descomposición de un cristal mix-

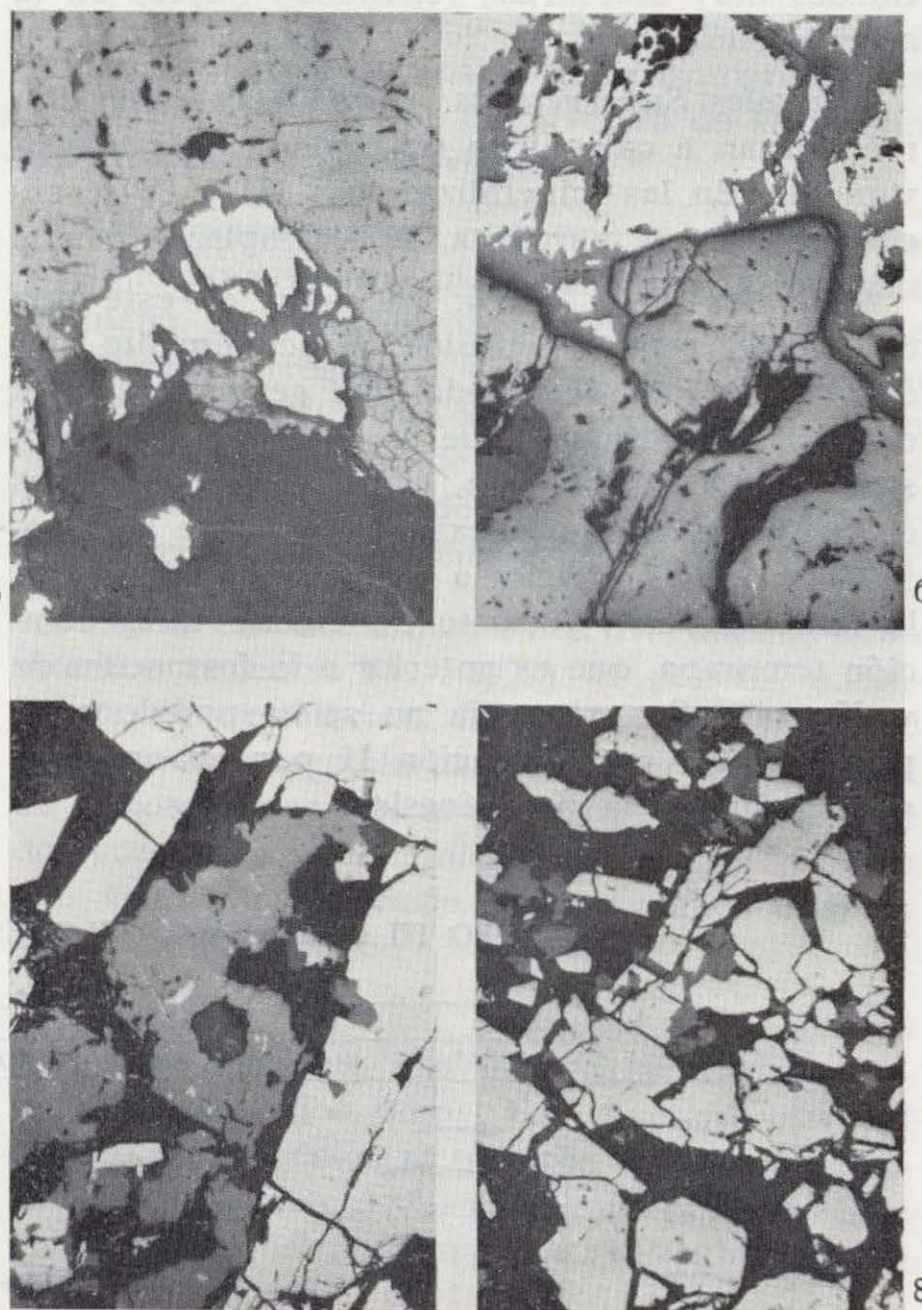


Foto 5.—Arsenopirita (blanco) parcialmente sustituida por escorodita (negro), incluida en fisuras en la wolframita (gris). L. Refl. LN  $\times$  100. Mineralización I de Guadalix de la Sierra.

Foto 6.—Casiterita (gris, relieve alto) subidiomorfa, acompañada de arsenopirita (blanco), cuarzo y escorodita (gris oscuro). L. Refl. LN  $\times$  200. Mineralización I de Guadalix de la Sierra.

Foto 7.—Blenda (gris oscuro) con inclusiones irregulares de calcopirita (gris claro), acompañada de arsenopirita (blanca). L. Refl. LN  $\times$  100. Mineralización II de Guadalix de la Sierra.

Foto 8.—Blenda (gris), sustituyendo a los cristales de arsenopirita (blanco). L. Refl. LN  $\times$  100. Mineralización II de Guadalix de la Sierra.

to de calcopirita-calcopirrotina (BORCHERT, 1934). Por debajo de los 255°C la calcopirrotina es inestable y se descompone en cubanita. El exceso de FeS precipita como pirrotina.

En la mineralización I la cubanita está ausente y se encuentra sólo pirrotina. Probablemente se trata de un producto de descomposición de una cubanita previamente formada (RAMDOHR, 1969).

Cabe añadir que en este tipo de filones (III y IV) se ha citado galena (CANEPA, 1968), en cantidades muy accesorias, rellenando huecos en la arsenopirita.

**Minerales Supergénicos:** Covellina y escorodita reemplazan a calcopirita y arsenopirita, respectivamente. En las mineralizaciones III y IV se encuentra además marcasita, que reemplaza a pirita.

**Minerales de la ganga:** La ganga de este tipo de filones está constituida principalmente por cuarzo. Se han observado dos generaciones de cuarzo: una primera, que es anterior a la deposición de la arsenopirita, y una segunda, que es el exceso de sílice que existe al final de la deposición y que es anterior a la fase supergénica. En la mineralización I existe un cuarzo de generación temprana, que es anterior a la formación de wolframita. Su existencia no se ha podido comprobar en la mineralización II por no aparecer wolframita en la paragénesis.

**Caracteres metalogénicos: Paragénesis y sucesión mineral**

Los filones de arsenopirita + sulfuros de Guadalix de la Sierra presentan caracteres metalogénicos muy similares (figs. 10 y 11).

- En la mineralización I aparecen tres etapas metalogénicas: una primera de W-Sn, una segunda de As-Fe y una tercera de sulfuros de Cu-Sn-Zn. En la mineralización II no aparecen más que dos etapas, la de As-Fe y la de sulfuros de Cu-Sn-Zn.
- En la mineralización I la deposición comienza con casiterita y wolframita. Posteriormente a ellas se produce una fase de brechificación (F<sub>2</sub>) que fractura estos minerales. A favor de estas fisuras se deposita scheelita reemplazando en parte a la wolframita.
- A continuación se deposita arsenopirita y pirita de forma mayoritaria. En la mineralización II la deposición comienza con estos minerales, estando ausente la etapa anterior de W-Sn.
- A continuación se produce una fase de brechificación que fractura intensamente a la arsenopirita. Esta fase corresponde a la F<sub>3</sub> en la mineralización I y es correlacionable con la F<sub>2</sub> de la mineralización II. Esta fase de brechifi-

GRUPO III (Subgrupo 1). FILONES DE ARSENOPIRITA + SULFUROS

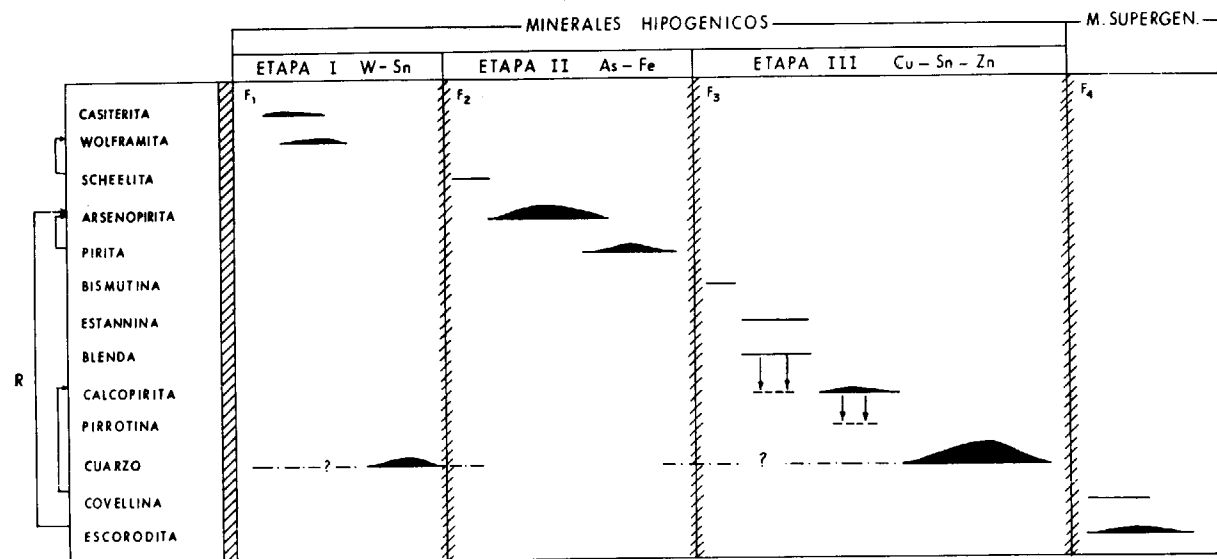


Figura 10.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral. (Guadalix de la Sierra). I.

TABLA VII

Término	Coordenadas	Hoja 1:50.000
Bustarviejo (Mina «Mónica»).	40° 52' 10''N 0° 02' 30''W	484
Oteruelo del Valle ... ..	40° 53' 03''N 0° 09' 56''W	484

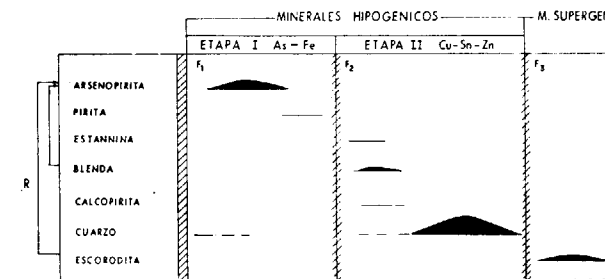


Figura 11.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Guadalix de la Sierra). II.

cación marca el comienzo de la deposición de sulfuros de Cu-Sn-Zn. En la mineralización I se deposita primeramente una pequeña cantidad de bismutina y después estannina y blenda simultáneamente. A su vez, en la blenda se producen pequeñas emulsiones de calcopirita. Después se deposita la calcopirita mayoritaria, en la que se verifican fenómenos de exsolución de pirrotina. En la mineralización II la deposición de estannina, blenda y calcopirita es prácticamente simultánea. Con el cuarzo termina la deposición de los minerales hipogénicos.

- La fase de brechificación F<sub>4</sub> en la mineralización I y la fase F<sub>3</sub> en la mineralización II (correlacionables entre sí), marcan el comienzo de la distribución de minerales supergénicos. La escorodita, mineral supergénico principal, aparece reemplazando a la arsenopirita y la covellina lo hace en parte a la calcopirita.

En las mineralizaciones III y IV se encuentra galena al final de la secuencia paragenética (CANEPA, 1968). Esto indica la presencia de soluciones mineralizadoras enriquecidas en Pb al final de la deposición y por tanto de más baja temperatura.

**5.3.2. Subgrupo 2: Filones con arsenopirita + sulfuros + sulfosales de Ag**

Este subgrupo es el más completo, pues en él se encuentran representados prácticamente todos los minerales metálicos de la Sierra de Guadarrama. La única mineralización que reúne estas condiciones es la mina «Mónica» de Bustarviejo. Sin embargo, se ha incluido también la mineralización de Oteruelo del Valle, por contener sulfosales de Ag (Tabla VII).

La mina «Mónica» está situada en el paraje denominado «Cabeza de Braña», en el término municipal de Bustarviejo. El acceso a las labores es por un carril, que parte de la izquierda entre los kilómetros 8 y 9 de la carretera de Miraflores en dirección a Bustarviejo.

Esta mineralización es la única de las estudiadas que no presenta una morfología típicamente filoniana. La arsenopirita con cuarzo se dispone en bolsadas irregulares y tapizando cavidades en un gneis muy silicificado. Se trata, pues, de un yacimiento de relleno de cavidades y fisuras. Presenta una morfología de una «masa» mineralizada alargada según direcciones de fractura (N 20°E).

La mina está actualmente inactiva, aunque hubo intentos recientes (1975-1977) de ponerla nuevamente en explotación. El interés económico se encuentra en la plata asociada a la arsenopirita. La explotación se realizó en subterráneo, mediante dos pozos que se comunican entre sí por galerías que siguen la dirección de alargamiento de la «masa» mineralizada.

En Oteruelo del Valle la explotación se realizó asimismo mediante una galería subterránea comunicada por dos pozos. Las muestras para el estudio metalogénico se tomaron directamente sobre un afloramiento del filón mineralizado. Este presenta una orientación de N 35°E/subvertical y una potencia media de 1 m.

**Naturaleza de la roca encajante.**

Del mismo modo que los filones del subgrupo 1, estas mineralizaciones encajan en rocas metamórficas. En la mina «Mónica» (Bustarviejo) se encuentran gneises migmatíticos y glandulares. Las glándulas, cuyo tamaño medio es de unos 5 cm., son de ortosa, a veces microclinizada, con pertitas en «films». Se orientan en una matriz cuarzo-feldespática y de minerales micáceos. Incluyen en su interior cristales de biotita, cuarzo y pla-

gioclasa. La foliación está compuesta por biotita (cloritizada y moscovitizada) y sillimanita fibrosa orientada según la foliación. Además aparecen cristales corroídos de andalucita, con un pleocroísmo rosa acusado. Cabe pensar que esta andalucita se ha formado por metamorfismo de contacto superpuesto al regional, debido a la proximidad del macizo de la Cabrera.

Estos gneises glandulares pasan insensiblemente a gneises migmatíticos, en los que se encuentran intercalaciones de bandas o zonas claras, ricas en componentes cuarzo-feldespáticos y pobres en biotita.

La roca encajante del filón de Oteruelo del Valle es un gneis migmatítico, correlacionable con el gneis encajante del subgrupo 1.

#### *Mineralización: Descripción*

*Tipo:* «Bustarviejo».

*Minerales Hipogénicos:* ARSENOPIRITA, Pirita, Casiterita, CALCOPIRITA, BLENDA, ESTANNINA, Pirrotina, Cubanita, Bismuto, Galena, Matildita.

*Minerales Supergénicos:* Marcasita, Covellina, Escorodita, Goethita.

*Minerales de la ganga:* CUARZO, Clorita, Sericita.

#### *Particularidades:*

Oteruelo del Valle: Ausencia de sulfuros de Cu-Sn-Zn.

**ARSENOPIRITA:** Se presenta fuertemente fracturada y cataclástica. Es uno de los primeros minerales en formarse, pues en las fisuras dentro de ella contiene a los restantes minerales de la paragénesis. Estas fisuras favorecen la alteración de la arsenopirita a escorodita.

**Pirita:** Acompaña frecuentemente a la arsenopirita, a la cual sustituye. A veces se presenta en cristales idiomorfos o subidiomorfos.

**Casiterita:** La casiterita de este yacimiento se encuentra asociada a la galena y sustituida por estannina (Foto 9). Se presenta en masas arriñonadas o agregados botroidales (estaño de madera), típicos de la casiterita formada bajo condiciones hidrotermales.

**CALCOPIRITA:** En este yacimiento se encuentran tres calcopiritas bien diferenciadas:

— Una primera, Cp I, en «gotas» redondeadas, irregularmente distribuidas en la blenda, dando una textura de emulsión. La mayoría de estas texturas han sido interpretadas como exsoluciones, pues la calcopirita y la blenda son capaces de entrar en solución sólida por encima de los 350 y 400°C (BUERGUER, 1934). Sin embargo, estos conceptos están hoy en día en revisión, sobre todo la utilización de estas emulsiones como geotermómetros. En Bustarviejo se han considerado estas «gotas» de calcopirita en blenda como exsoluciones, porque en muchos granos de blenda las «gotas» se disponen únicamente en la parte central, quedando los bordes libres de calcopirita. Esto eliminaría la posibilidad de un proceso de reemplazamiento o de difusión a través de la blenda (RAMDOHR, 1969).

— La segunda calcopirita, Cp II, en laminillas alargadas, que cortan a las «gotas» redondeadas de Cp I, dentro de la blenda. Estas laminillas se deben a la removilización de la Cp I a favor de fisuras, que actualmente aparecen selladas (Foto 10).

— La tercera y última calcopirita, Cp III, está constituida por masas irregulares que rodean a la blenda y a la arsenopirita y se introducen en ellas a favor de fisuras. Dentro de esta calcopirita III se encuentran «estrellas» de estannina y blenda, algunas de estas últimas de destacado tamaño (Foto 12).

**BLENDA:** Constituye un mineral principal en el yacimiento de Bustarviejo. Aparecen tres generaciones de blenda:

— La primera está constituida por «estrellas» de blenda de reducido tamaño, que aparecen en la estannina.

— La segunda, con diferencia la más abundante, se encuentra incluida en la calcopirita III y es muy rica en inclusiones. Se han podido diferenciar los siguientes tipos de inclusiones:

1.º «Gotas» de emulsión de *calcopirita*.

— Unas redondeadas y sin orientación preferente.

— Otras orientadas en laminillas, que cortan a las anteriores.

2.º «Gotas» de emulsión de *pirrotina*. Su comportamiento es similar al de la *calcopirita*. Se encuentran:

— Unas redondeadas y sin orientación preferente.

— Otras en «lancetas» orientadas que cortan a las anteriores (Foto 11).

Al igual que la *calcopirita*, las primeras se interpretan como exsoluciones de *pirrotina* en blenda y las segundas como removilizaciones en fracturas.

3.º Inclusiones redondeadas de *estannina*. No existe ningún criterio para interpretar estos granos como exsoluciones.

4.º «Gotas» de emulsión mixtas de *calcopirita* y *pirrotina*. Estas «gotas» mixtas indican que probablemente la blenda se encontraba en solución sólida con un cristal mixto de *calcopirita-calcopirrotina*. Al descender la temperatura se han formado exsoluciones de *calcopirita* y el exceso de FeS ha precipitado como *pirrotina* (EDWARDS, 1960).

5.º «Gotas» de emulsión mixtas de *calcopirita* y *estannina*.

6.º «Gotas» de emulsión mixtas de *pirrotina* y *estannina*.

7.º «Gotas» de emulsión mixtas de *calcopirita*, *pirrotina* y *estannina*. Esta *estannina* que acompaña a la *calcopirita* y a la *pirrotina* dentro de la blenda, se debe también posiblemente a un producto de exsolución.

— La tercera generación de blenda se encuentra en forma de «estrellas» dentro de la *calcopirita*. Algunas de ellas alcanzan un destacado tamaño (Foto 12). Generalmente, este tipo de textura se ha interpretado como producto de exsolución (mucho menos frecuente que el de *calcopirita* en blenda), pero también puede tratarse de un crecimiento dendrítico primario, formado por cristalización simultánea con la *calcopirita* (RAMDOHR, 1969).

**ESTANNINA:** La *estannina* aparece estrechamente asociada a la blenda y a la *calcopirita*. Es posible diferenciar tres generaciones:

— Una primera, la más abundante, intercrecida con la blenda y a veces incluida en ella en forma de granos redondeados. También aparece sustituyendo a la *casiterita*. Se trata de una *estannina* muy anisótropa con macas laminares bien desarrolladas. En su interior se encuentran diminutas partículas de *calcopirita* y/o *pirrotina*. Asimismo, presenta «estrellas» de blenda de reducido tamaño. Esto se debe a que en la *estannina*

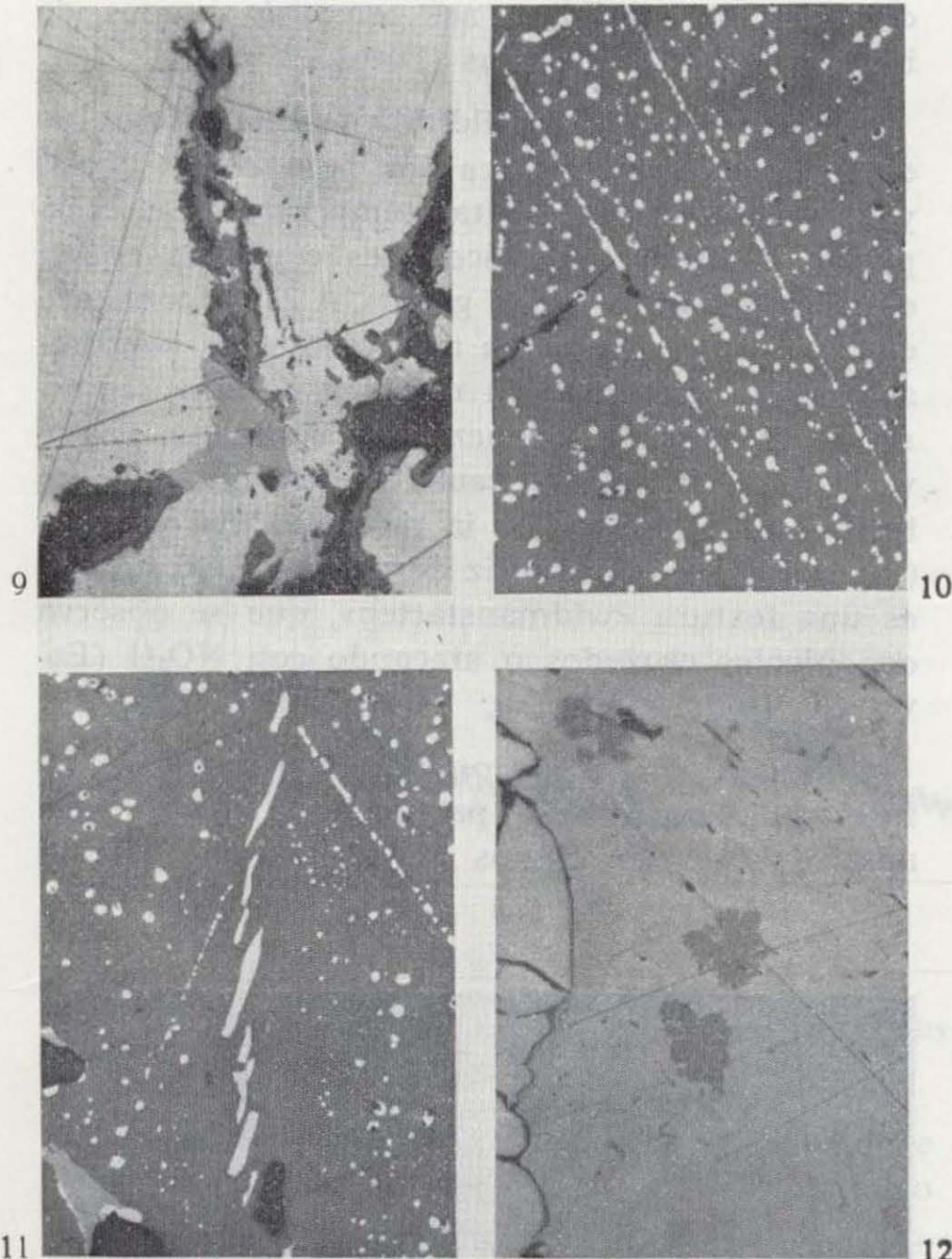


Foto 9.—*Casiterita* (gris medio) en masas arriñonadas (estaño de madera), sustituida parcialmente por *estannina* (gris claro). Se encuentra incluida en *galena* (blanco) y rodeada por pequeños cristales plumosos de *covellina* (gris oscuro). L. Refl. LN  $\times$  200. Mineralización de Bustarviejo.

Foto 10.—«Gotas» y laminillas de *calcopirita* (blanco) en blenda (gris). L. Refl. LN  $\times$  200. Inmersión. Mineralización de Bustarviejo.

Foto 11.—*Pirrotina* en lancetas orientadas y *calcopirita* en «gotas» redondeadas, como producto de exsolución en blenda. L. Refl. LN  $\times$  200. Inmersión. Mineralización de Bustarviejo.

Foto 12.—«Estrellas» de blenda en *calcopirita*. L. Refl. LN  $\times$  200. Inmersión. Mineralización de Bustarviejo.

existía una cierta cantidad de Zn (se ha comprobado por microsonda electrónica que aún conserva Zn en su composición) y un exceso de Cu y Fe, que precipitan en forma de pequeñas exsoluciones cruciformes de blenda y «gotas» ovoides de calcopirita y pirrotina, respectivamente.

Algunas veces las desmezclas de calcopirita y/o pirrotina se disponen a lo largo de los límites de grano de la estannina. Esto es debido a que existe un exceso de calcopirita y pirrotina exsueitas en la estannina, que por segregación se han dispuesto siguiendo los bordes de grano (EDWARDS, 1960).

- Una segunda generación de estannina es aquella que acompaña a la calcopirita y pirrotina en «gotas» de emulsión en la blenda.
- La última generación de estannina se encuentra en forma de pequeñas «estrellas» incluidas en la calcopirita (Cp III).

**Pirrotina:** La pirrotina sigue un comportamiento análogo al de la calcopirita en la blenda. Como ya se ha indicado anteriormente, la pirrotina se presenta en «gotas» redondeadas en la blenda, sola o acompañada de calcopirita y/o estannina, así como en forma de lancetas alargadas (Foto 11).

**Cubanita:** En la calcopirita III se encuentran finas laminillas de cubanita. Como se verá más adelante, se trata de exsoluciones de cubanita en calcopirita.

**Bismuto:** El bismuto nativo se encuentra incluido en la galena; algunas veces en granos de cierto tamaño. Se ha determinado por microsonda electrónica, que la presencia de granos de bismuto (Foto 14) se encuentra estrechamente relacionada con las laminillas de matildita, que presenta la galena (ver apartado galena-matildita).

**GALENA y Matildita:** La galena se encuentra rellenando fisuras dentro de la arsenopirita, calcopirita, estannina y blenda, a las cuales sustituye.

En la galena aparece una red muy fina de laminillas orientadas según direcciones (100) y (111) de matildita o schapbachita,  $AgBiS_2$ , pues en ella el análisis puntual mediante microsonda detectó la presencia de Ag, Bi y S mayoritario (fig. 12).

Como consecuencia de ello se realizó un barrido superficial bajo las siguientes condiciones:

	Ag	Bi
Línea espectral ... ..	$L\alpha$	$L\alpha_1$
Longitud de onda ... ..	4.1544 Å	1.1439 Å
Superficie de barrido ... ..	$(150\mu m)^2$	$(150\mu m)^2$
Potencial acelerador de electrones.	30Kv	30Kv
Intensidad de corriente de sonda ...	0.1µA	0.1µA
Cristal analizador ... ..	PET	FLi (200)

Se comprueba la presencia de laminillas entrecruzadas de matildita, así como de granos de bismuto asociados a ellas (Fotos 13 y 14).

La presencia de matildita en Bustarviejo fue determinada por primera vez por CANEPA (1968) y RAMDOHR (1969). A altas temperaturas el compuesto  $\alpha-AgBiS_2$  es cúbico y es capaz de entrar en solución sólida con la galena. A 225°C comienza el proceso de exsolución al invertirse la  $\alpha-AgBiS_2$  a  $\beta-AgBiS_2$ , modificación rómbica de baja temperatura. A 210°C la desmezcla es completa. La inversión de la  $AgBiS_2$  causa la precipitación en forma de laminillas de la modificación rómbica (matildita) en una matriz de galena. El resultado es una textura «widmanstätten», que se observa con nicoles cruzados o atacando con  $NO_3H$  (EDWARDS, 1960; RAMDOHR, 1969).

**Minerales Supergénicos:** La marcasita se ha formado claramente a partir de la pirita, pues aún se observan granos de pirita sólo parcial-

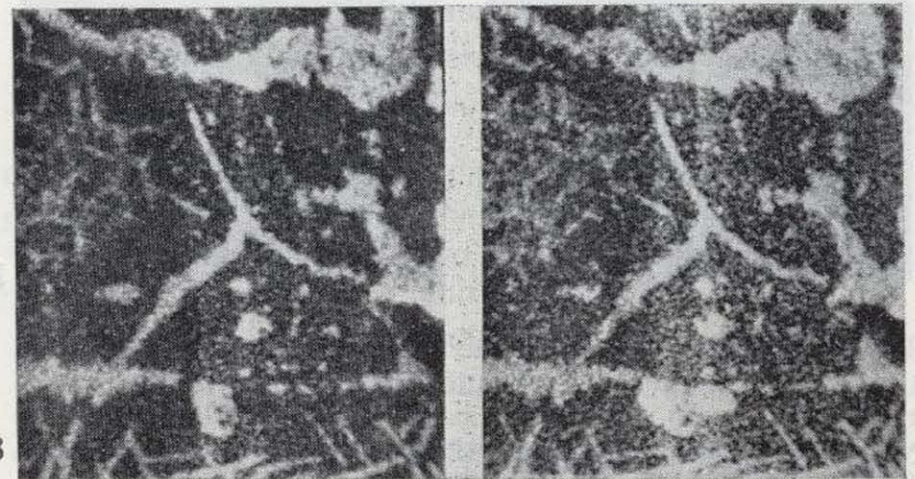


Foto 13.—Imagen de distribución de Ag en galena. Sobre el mineral base (galena) destacan intercrecimientos de un mineral (matildita) que contiene Ag.  $\times 420$ .

Foto 14.—Imagen de distribución de Bi en galena. Sobre el mineral base (galena) destacan intercrecimientos de un mineral (matildita), que contiene Bi. En la parte inferior de la imagen se observa una zona blanca, que permanece oscura en la distribución de la Ag. Corresponde a bismuto nativo.

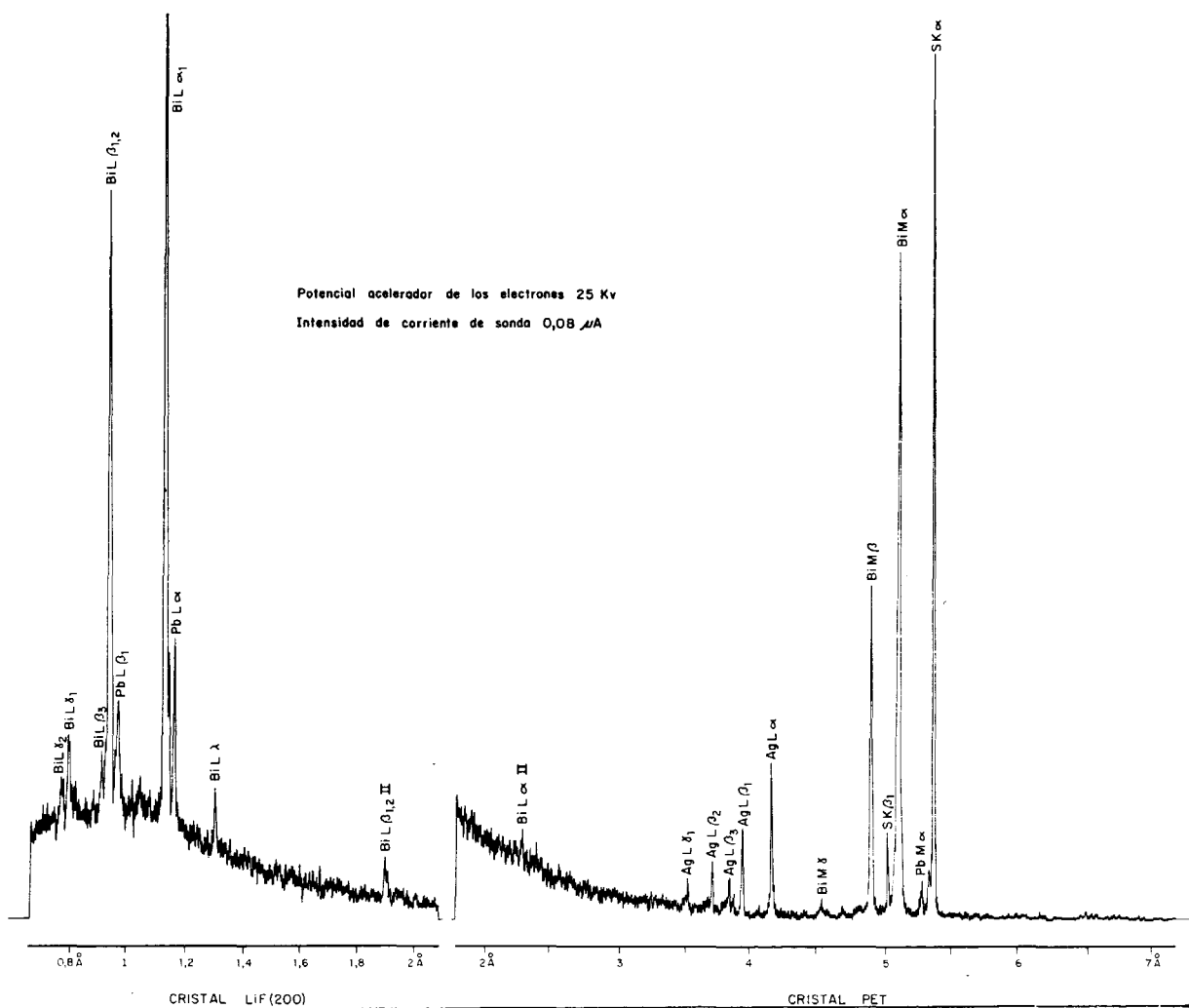


Figura 12.—Matildita muy entrecruzada con galena.

mente marcasitizados. Asimismo, la marcasita se presenta en forma de cristales esqueléticos dentro de la blenda. La covellina sustituye a la blenda, calcopirita y galena a favor de finas fisuras, así como la goethita a la calcopirita. La escorodita reemplaza a la arsenopirita.

*Minerales de la ganga:* La ganga de la mineralización de Bustarviejo está constituida por agregados de micas —clorita, sericita— y por cuarzo. Se observan dos generaciones de cuarzo: una primera, posterior a la deposición de la arsenopirita, y una segunda, mayoritaria, que está constituida por cuarzo hidrotermal de baja temperatura, que rodea al resto de la mineralización.

La mineralización de Oteruelo del Valle es mucho más simple que la de Bustarviejo. La analogía fundamental entre ambas es que las dos presentan galena con matildita. Este mineral se encuentra en Oteruelo del Valle en cantidades mucho menores que en Bustarviejo.

La mineralogía que presenta el filón de Oteruelo del Valle es la siguiente:

*Minerales Hipogénicos:* ARSENOPIRITA, Pirrotina, Galena, Matildita.

*Minerales Supergénicos:* Pirita-Marcasita, Escorodita.

*Minerales de la ganga:* CUARZO.

**ARSENOPIRITA:** Constituye el 90 por 100 de la mineralización. Se presenta en granos muy heterométricos, cataclástica y muy fracturada. Estas fracturas favorecen la introducción de otros minerales, como galena con matildita, cuarzo y minerales supergénicos. Muestra un estado avanzado de alteración a escorodita.

**Pirrotina:** Es el primer mineral en depositarse. Se encuentra en forma muy accesoria, incluida en granos irregulares en la arsenopirita.

**Galena y matildita:** En pequeñas cantidades la galena rellena huecos y fisuras dentro de la arsenopirita. En la galena aparecen finas laminillas entrecruzadas de un mineral fuertemente anisótropo y pleocroico. Mediante análisis puntual por microsonda electrónica se ha detectado la presencia de Ag, Bi y S mayoritario. Esto, unido a los caracteres ópticos del mineral, ha permitido su determinación como matildita. La presencia de matildita en la galena ha hecho posible la correlación de esta mineralización con la de Bustarviejo.

**Minerales Supergénicos:** La pirita y la marcasita se encuentran íntimamente intercrecidas, formando masas arrañadas, esqueléticas e irregulares, relleno de fisuras dentro de la arsenopirita, a la que reemplazan. Esta pirita, dada su textura coliforme y su estrecha relación con la

marcasita, es posiblemente de origen supergénico y por ello producto de la circulación de aguas descendentes a través de la fracturación de la arsenopirita.

La escorodita sustituye ampliamente a la arsenopirita a favor de fisuras y bordes de grano.

**Minerales de la ganga:** La única ganga que presenta esta mineralización es el cuarzo, que rellena fisuras dentro de la arsenopirita.

Se han citado otros minerales en Oteruelo del Valle (CANEPA, 1968), como son calcopirita, wolframita, covellina y posiblemente goldfieldita. Estos minerales, por otra parte muy escasos, no han sido encontrados por nosotros. Dado que el muestreo se ha realizado en un afloramiento del filón, es posible que estos minerales se encuentren en zonas más profundas del filón, cuyo acceso es actualmente impracticable.

**Caracteres metalogénicos: Paragénesis y sucesión mineral**

Del estudio de la paragénesis y sucesión mineral del yacimiento de Bustarviejo (fig. 13) se deducen las siguientes conclusiones:

— Este yacimiento presenta una paragénesis compleja, con un amplio rango de especies mine-

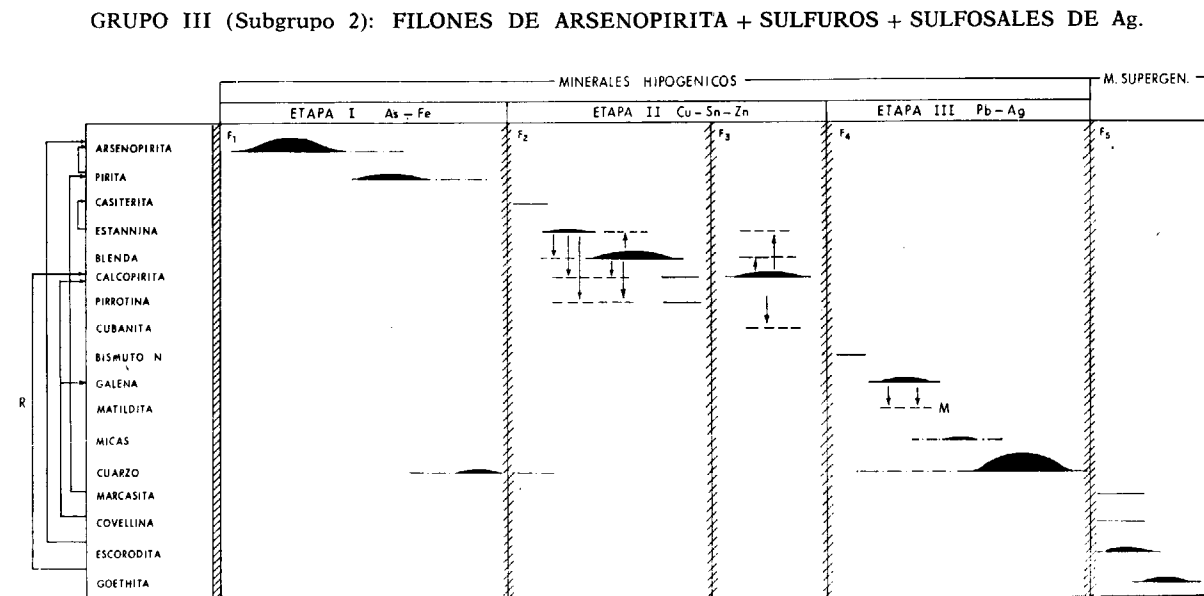


Figura 13.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Bustarviejo)

rales. Aparecen minerales de baja temperatura (matildita) y otros cuya aparición tiene lugar entre temperaturas medias y altas. Se han podido reconocer tres etapas metalogénicas: una primera de As-Fe, una segunda de Cu-Sn-Zn y una tercera de Pb-Ag.

— El primer mineral en depositarse es la arsenopirita y lo hace de forma mayoritaria. Después lo hace la pirita, sustituyendo en parte a la arsenopirita. Posteriormente se produce una importante fase de brechificación (F<sub>2</sub>). A favor de estas fracturas se van a depositar los restantes minerales.

— A continuación se va a depositar casiterita (masas arrañadas formadas bajo condiciones hidrotermales), estannina y blenda. Acompañando a estos dos minerales se produce un complejo número de exsoluciones. En la estannina se originan desmezclas de blenda, calcopirita y pirrotina y en la blenda de estannina, calcopirita y pirrotina. Posteriormente se produce una removilización de calcopirita y pirrotina en fisuras en la blenda.

— Una tercera fase de brechificación (F<sub>3</sub>) marca el comienzo de la deposición de la calcopirita mayoritaria, en la que se producen fenómenos de desmezcla de estannina, blenda y cubanita.

— Posteriormente, se produce otra fase de fracturación (F<sub>4</sub>), que marca el comienzo de la deposición de minerales de Pb-Ag-Bi. La galena se introduce en las fisuras de los minerales previamente depositados y simultáneamente a su formación se producen exsoluciones de matildita según direcciones (100) y (111).

Las micas y el cuarzo son los últimos minerales hipogénicos en depositarse, si bien ha existido sílice anteriormente, en la primera etapa de formación de la mineralización.

— La desaparición del cuarzo coincide con la etapa F<sub>5</sub>, que señala el comienzo de la fase supergénica. La deposición de los minerales supergénicos, marcasita, covellina, escorodita y goethita se verifica a expensas del reemplazamiento de la pirita, calcopirita y galena, arsenopirita y calcopirita, respectivamente.

El esquema de paragénesis y sucesión mineral de la mineralización de Oteruelo del Valle (fig. 14) es, como se desprende de su mineralogía, mucho

más simple que el de Bustarviejo. No obstante, se han podido determinar dos etapas metalogénicas (As-Fe, Pb-Ag), que son evidentemente correlacionables con las de Bustarviejo.

— El primer mineral en depositarse es la pirrotina seguida de arsenopirita. Posteriormente a la deposición de la arsenopirita se produce una intensa fase de brechificación (F<sub>2</sub>), que es correlacionable con la fase F<sub>2</sub> de Bustarviejo.

— A continuación y a favor de las fisuras formadas durante esta fase F<sub>2</sub>, se deposita galena y simultáneamente se forman desmezclas de matildita. El cuarzo es el último mineral hipogénico en depositarse.

— La fase de brechificación F<sub>3</sub> marca el comienzo de la fase supergénica. En ella se forman pirita-marcasita y escorodita, que reemplazan a la arsenopirita. Esta fase (F<sub>3</sub>) es asimismo correlacionable con la F<sub>3</sub> del yacimiento de Bustarviejo.

— Comparando nuevamente con el yacimiento de Bustarviejo, hay que hacer notar que en Oteruelo del Valle se encuentran ausentes los sulfuros de Cu-Sn-Zn. Como ya se dijo anteriormente, es posible que estos minerales se encuentren en pequeñas cantidades en zonas del filón no exploradas.

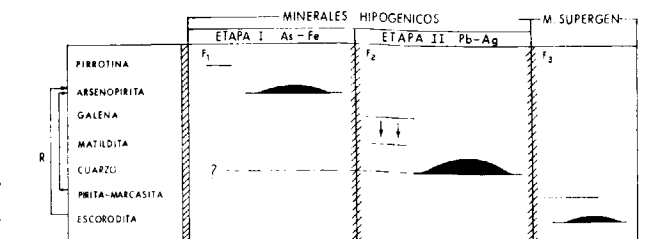


Figura 14.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral (Oteruelo del Valle).

#### BIBLIOGRAFIA

ALDAMA, J.: *Sustancias minerales más notables del distrito de Madrid*. Rev. Minera, Serie A, t. XI, pp. 168-172 (1860).

APARICIO, A.: *Estudio geológico del macizo cristalino de Toledo*. Est. Geol., 27, pp. 361-414 (1971).

- APARICIO, A., y BELLIDO, F.: *Geochemical features of the metamorphism in the Sistema Central (Spain)*. Chem. Geol. 17, pp. 281-293 (1976).
- APARICIO, A., y GALÁN, E.: *El metamorfismo de bajo grado en el área central del Macizo Hespérico (Sistema Central-Toledo)*. Bol. Geol. Min., 89, pp. 475-486 (1978).
- APARICIO, A., y GARCÍA CACHO, L.: *Estudio geológico de la zona metamórfica de Honrubia (Sistema Central Español)*. Est. Geol., 26, pp. 297-315 (1970).
- APARICIO, A.; CASQUET, C., y BARRERA, J. L.: *Petrogénesis del stock granítico tardicinemático de Rascafría-El Paular (Sistema Central Español)*. Est. Geol., 29, pp. 479-487 (1973).
- APARICIO, A.; GARCÍA CACHO, L., y PEINADO, M.: *Sobre la petrogénesis de las formaciones glandulares del Sistema Central Español*. Bol. Geol. Min., 86, pp. 416-427 (1975 a).
- APARICIO, A.; BARRERA, J. L.; CARABALLO, J. M.; PEINADO, M., y TINAO, J. M.: *Los materiales graníticos hercínicos del Sistema Central Español*. Mem. Inst. Geol. Min. de España, 88, 145 pp. (1975 b).
- ARCINEGA, J.: *Informe acerca del estado de la industria minera en el distrito de Madrid*. Rev. Cient. Min. Form. t. 1, pp. 503-516 (1860).
- BABÍN, R. B.: *Estudio meso y microtectónico del macizo metamórfico de El Vellón*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., t. 69, pp. 5-27 (1971).
- BARD, J. P.; CAPDEVILA, R., y MATTE, Ph.: *Les grands traits stratigraphiques, tectoniques, métamorphiques et plutoniques de Sierra de Gredos et de Guadarrama (Espagne Centrale)*. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 270, pp. 2630-33 (1970).
- BARD, J. P.; CAPDEVILA, R.; MATTE, Ph., y RIBEIRO, A.: *Le Precambrien de la Peninsule Iberique*. Not. Serv. Geol. Maroc., 236, pp. 315-335 (1972).
- BISCHOFF, L.; SCHAFFER, G.; SCHMIDT, K., y WALTER, R.: *Zur Geologie der mittleren Sierra de Guadarrama (Zentralspanien)*. Forsc. Geol. Palaont. Munster, h. 82, 27 pp. (1973).
- BORCHERT, H.: *Über Entmischungen im System Cu-Fe-S und ihre Bedeutung als 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).
- CALDERÓN, S.: *Datos sobre el mispíquel de España*. Bol. Rev. Soc. Esp. Hist., 5, pp. 312-317 (1905).
- CALDERÓN, S.: *Los minerales de España*. Tomo 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).
- CAPOTE, R.: *Estudio geoestructural de los afloramientos metamórficos del Norte de la provincia de Avila*. Bol. Geol. Min., 84, pp. 426-437 (1973).
- CAPOTE, R., y FERNÁNDEZ CASALS, M. J.: *Las series anteorovícicas del Sistema Central*. Bol. Geol. Min., 86, pp. 581-596 (1975).
- CAPOTE, R., y VEGAS, R.: *El Paleozoico de los alrededores de Avila*. Est. Geol., 24, pp. 181-189 (1968).
- CAPOTE, R.; CASQUET, C.; FERNÁNDEZ CASALS, M. J.; MORENO, F.; NAVIDAD, M.; PEINADO, M., y VEGAS, R.: *The precambrian in the Central Part of the Iberian Massif*. Est. Geol., 33, pp. 343-355 (1977).
- CASQUET, C.: *Metamorfismo plurifacial hercínico intermedio de baja presión en el macizo de San Vicente (Sistema Central Español)*. Est. Geol., 31, pp. 217-239 (1975).
- DE PEDRO, F.: *Estudio geoquímico de los granitos de la Sierra de Guadarrama*. Tesis Doctoral. Univ. de Madrid (1956).
- EDWARDS, A. B.: *Textures of the ore minerals and their significance*. Austr. Inst. of Min. and Metal. Melbourne, 242 pp. (1960).
- ESCOCURA, L.: *Análisis de un mineral de Zn de la mina Cuadrón*. Rev. Min., Serie A, tomo III, p. 569 (1852).
- FEBREL, T.; FUSTER, J. M., y DE PEDRO, F.: *Explicación de la Hoja 1:50.000, n.º 484. Buitrago de Lozoya*, IGME (1958).
- FERNÁNDEZ CASALS, M. J.: *Significado geotectónico de la formación gneises de la Morcuera*. Stv. Geol. 7, pp. 87-106 (1974).
- 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 CASALS, M. J., y CAPOTE, R.: *La tectónica paleozoica del Guadarrama en la región de Buitrago de Lozoya*. Bol. Geol. Min., 81, pp. 562-568 (1970).
- FERNÁNDEZ CASALS, M. J., y CAPOTE, R.: *Los gneises glandulares del Guadarrama Oriental*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 69, pp. 69-80 (1971).
- FERNÁNDEZ NAVARRO, L.: *Notas geológicas y mineras-IV. Localidades españolas de minerales*. Bol. Soc. Esp. Hist. Nat., t. III, pp. 253-260 (1903).
- FERNÁNDEZ NAVARRO, L.: *Las minas de El Espinar*. Bol. Rev. Soc. Esp. Hist. Nat., t. V, pp. 511-516 (1905).
- FERNÁNDEZ NAVARRO, L.: *Noticias sobre minerales de la Sierra de Guadarrama*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., t. 16, pp. 278-279 (1916 a).
- FERNÁNDEZ NAVARRO, L.: *Molibdenita de Torreledones*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., t. 16, pp. 181-182 (1916 b).
- FUSTER, J. M., y FEBREL, T.: *Explicación a la Hoja 1:50.000, número 509. Torrelaguna*. IGME (1959).
- FUSTER, J. M., y GARCÍA CACHO, L.: *Sobre el metamorfismo regional progresivo en el Guadarrama Oriental (Sistema Central Español)*. Est. Geol., 26, pp. 327-329 (1970).

- FUSTER, J. M., y MORA, A.: *El carácter del metamorfismo en el macizo de La Cañada (Sistema Central Español)*. Est. Geol., 26, pp. 317-321 (1970).
- FUSTER, J. M.; APARICIO, A.; CASQUET, C.; GARCÍA CACHO, L.; MORA, A., y PEINADO, M.: *Interacciones entre los metamorfismos plurifaciales y polifásicos del Sistema Central Español*. Bol. Geol. Min., 85, pp. 595-600 (1974).
- GARCÍA CACHO, L.: *Evolución temporal del metamorfismo y procesos de blastesis sucesiva en el sector oriental del Sistema Central Español*. Tesis Doctoral. Universidad Compl. de Madrid (1973).
- 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 (1874).
- HEIM, R. C.: *Metamorfism in the Sierra de Guadarrama*. Min. Geologisch. Inst. Rijks. Univ. Utrech Holanda, 66 pp. (1952).
- HERNÁNDEZ SAMPELAYO, P.: *Aportación a la bibliografía del estaño en España*. Notas y Com. IGME, 16 (1946).
- JULIVERT, M.; FONTBOTE, J.; RIBEIRO, A., y CONDE, L.: *Memoria explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. IGME (1974).
- LANDECHO, M.: *Criaderos de plomo del término de Navatagamella*. Jef. Minas. Madrid (1927).
- LANDECHO, M.: *El distrito minero de Madrid*. Direc. Gen. Minas y Com. Colección Distritos, núm. 10 (1947).
- LÓPEZ RUIZ, J., y GARCÍA CACHO, L.: *Origen de los granates de las rocas graníticas aplíticas de la Sierra del Guadarrama, Sistema Central Español*. Bol. Geol. Min., 86, pp. 614-618 (1975).
- LÓPEZ RUIZ, J.; APARICIO, A., y GARCÍA CACHO, L.: *El metamorfismo de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español)*. Mem. Inst. Geol. Min. de España, 86, 127 pp. (1975).
- LOTZE, F.: *Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta*. Geotekt. Forsch, núm. 6, 78-92 pp., Berlín. (Traducido por J. M. Ríos: *Observaciones respecto a la división de las variscidas de la Meseta Ibérica*. Publ. Extr. Geol. Esp., tomo V, 149-166 pp., Madrid, 1950.) (1945).
- MENDES, F.; FUSTER, J. M.; IBARROLA, E., y FERNÁNDEZ SANTÍN, S.: *L'age de quelques granites de la Sierra de Guadarrama (Système Central Espagnol)*. Revista de Faculdade de Lisboa, 2.ª, Serie C, XVII, Fasc. 1.ª, pp. 345-365 (1972).
- MENÉNDEZ ORMAZA, J.: *Yacimientos de cobre en las cercanías de Colmenarejo*. Informe Jef. Minas, Madrid (1924).
- MENÉNDEZ ORMAZA, J.: *Criaderos de plomo de Garganta y Gargantilla*. Informe. Jef. Minas., Madrid (1926).
- MENÉNDEZ ORMAZA, J.: *Estudio de los criaderos metalíferos en las cercanías de Bustarviejo (Madrid)*. Cat. Dest. Cri. Min., t. 2, pp. 202-203 (1933).
- MUÑOZ DEL CASTILLO, J.: *Una mina radiactiva 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. Quím., 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).
- NAVIDAD, M.: *Caracterización petrológica de los gneises glandulares del macizo de Hiendelaencina (Guadarrama Oriental)*. Est. Geol., 31, pp. 343-350 (1975).
- NAVIDAD, M., y PEINADO, M.: *Facies vulcano-sedimentarias en el Guadarrama Central (Sistema Central Español)*. Stv. Geol., 12, pp. 137-159 (1977).
- PARGA, I.; MATTE, P., y CAPDEVILA, R.: *Introduction a la geologie de l'Ollo de Sapo. Formation popyroide anté-silurienne du Nord-Ouest de l'Espagne*. Notas y Com., 76, pp. 119-154 (1964).
- PEINADO, M.: *Evolución metamórfica en el macizo El Escorial-Villa del Prado (Sistema Central Español)*. Tesis Doctoral. Univ. Compl. Madrid (1973).
- PÉREZ, P.: *Estudio de los criaderos minerales de San Rafael (Segovia)*. Bol. Oficial Minas y Metalurgia, año IV, números 32 y 33, pp. 1-24 (1920).
- PÉREZ FOURNIES, M.: *Estudio de los criaderos de plomo de la zona de Robledo de Chavela y Colmenar de Arroyo*. Informe. Jef. Minas. Madrid (1924).
- PÉREZ MATEOS, J.: *Las scheelitas españolas*. Notas y Com. IGME, 50, pp. 333-349 (1938).
- PÉREZ REGODÓN, J.: *Guía geológica, hidrogeológica y minera de la provincia de Madrid*. Mem. Inst. Geol. Min. de España, t. 76 (1970).
- PÉREZ SÁNCHEZ, P.: *Estudio de los criaderos minerales de San Rafael (Segovia)*. Cat. Des. Cri. Min., t. 1-2 (1933).
- PRADO, C. DE: *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid*. Edición del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Ciencia, Humanidades e Ingeniería, 352 pp. (1975) (1864).
- RAMDOHR, P.: *The ore minerals and their intergrowths*. Pergamon Press, 1174 pp. (1969).
- SAMPER, J.: *Estudio metalogénico y evolución de la minería en la mina Mónica de Bustarviejo*. Tecniterrae, año IV, 19, pp. 14-22 (1977).
- SAN MIGUEL DE LA CÁMARA, M., y GARCÍA FIGUEROLA, L. C.: *Explicación de la Hoja 1:50.000, núm. 532. Navas del Marqués*. IGME (1960).

- SAN MIGUEL DE LA CÁMARA, M.; FUSTER, J. M., y DE PEDRO, F.: Explicación de la Hoja 1:50.000, núm. 533. San Lorenzo de El Escorial. IGME (1956).
- SÁNCHEZ DE LA FUENTE, J.; VALLEJO, G.; MARTÍNEZ LÓPEZ, R., y BAEZA, L. J.: *La serie metamórfica de Hiendelaencina y su cobertura paleozoica*. I Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Sección 1, pp. 435-450 (1971).
- SCHAFER, G.: *Geologie and Petrographie in östlichen kastilischen Hauptscheidegebirge (Sierra de Guadarrama, Spain)*. Münster Forsch. Geol. Paläont., 10, pp. 1-207 (1969).
- SOERS, E.: *Stratigraphie et geologie structural de la partie orientale de la Sierra de Guadarrama (Espagne Centrale)*. Stvd. Geol., 4, pp. 7-94 (1972).
- SOMMER, W.: *Stratigraphie und Tectonik im östlichen Guadarrama Gebirge (Spanien)*. Arbeiten aus dem Geologisk-Paläontologischen Institut der Westf. Wilhelms Universität zu Munster, 159 pp. (1965).
- WAARD, D. DE: *Palingenetic structures in augengneis of the Sierra de Guadarrama, Spain*. Bull. Com. Geol. Finlande, núm. 150, t. 23, pp. 51-66 (1950).

Recibido: Mayo 1981.