

En este número:

- Los montículos arrecifales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena. III: Microfacies y Diagénesis.
- La tectónica de cabalgamientos de la Sierra Norte de Mallorca (Islas Baleares).
- Estudio geológico del Estefaniense de Arnao (Asturias, NO de España).
- Primeras edades radiométricas en el área Estanno-Wolframífera de Morille-Martinamor (Centro-Oeste de España).
- Trilobites y Graptolitos de las lumaquelas terminales de los «Bancos Mixtos» (Ordovícico Superior de la zona Centroibérica meridional): Elementos nuevos o poco conocidos.
- Estudio mineralógico, textural y geoquímico de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena (2.ª Parte: Oxidación de paragénesis con greenalita-magnetita).
- Aspectos genéticos de las mineralizaciones de F (Ba-Pb) del área de Colmenar de Arroyo (Sistema Central español).
- Datación por el método Rb-Sr de dos muestras de granito de Galicia: granito tipo Padrón y granito tipo Porriño.
- Caracterización de la materia orgánica contenida en la «Cuarcita del Criadero» de Almadén por pirólisis Rock-Eval.
- Sobre el origen de las mineralizaciones españolas de uranio en rocas metasedimentarias.

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874 Tomo XCVIII. Quinto Fascículo. Sept.-Octubre 1987

# boletín geológico y minero

geología • minería • aguas subterráneas • geotecnia • estudios de minerales • mineralurgia





**Tomo 98**  
**Fascículo V**  
**Septiembre-Octubre 1987**

# Boletín Geológico y Minero

**revista bimestral de geología económica, industrias extractivas y de su beneficio - fundada en 1874 - 4.ª serie**

## SUMARIO

<b>Geología</b>	E. MORENO-EIRIS: Los montículos arrecifales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena. III: Microfacies y Diagénesis ... .. 3
	M. ALVARO: La tectónica de cabalgamientos de la Sierra Norte de Mallorca (Islas Baleares) ... .. 34
	V. HORVATH, F. LEYVA y D. NAVARRO: Estudio geológico del Estefaniense de Arnao (Asturias, NO de España) ... .. 42
	E. LINARES, E. PELLITERO y J. SAAVEDRA: Primeras edades radiométricas en el área Estanno-Wolframífera de Morille Martinamor (Centro-Oeste de España) ... .. 52
	J. C. GUTIÉRREZ MARCO e I. RÁBANO: Trilobites y Graptolitos de las lumaquelas terminales de los «Bancos Mixtos» (Ordovícico Superior de la zona Centroibérica meridional): Elementos nuevos o poco conocidos ... .. 59
<b>Minería</b>	J. A. LÓPEZ GARCÍA: Estudio mineralógico, textural y geoquímico de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena (2.ª Parte: Oxidación de paragénesis con greenalita-magnetita) ... .. 82
	J. LOCUTURA RUPÉREZ y F. TORNOS ARROYO: Aspectos genéticos de las mineralizaciones de F (Ba-Pb) del área de Colmenar de Arroyo (Sistema Central español) ... .. 92
<b>Geoquímica</b>	J. GARCÍA GARZÓN: Datación por el método Rb-Sr de dos muestras de granito de Galicia: granito tipo Padrón y granito tipo Porriño ... .. 107
	A. MORENO, J. F. LLAMAS, R. ALCÁNTARA, G. MONSEUR y L. F. MAZADIEGO: Caracterización de la materia orgánica contenida en la «Cuarcita del Criadero» de Almadén por pirólisis Rock-Eval ... .. 111
<b>Estudio de minerales y rocas</b>	A. ARRIBAS: Sobre el origen de las mineralizaciones españolas de uranio en rocas metasedimentarias ... .. 117
<b>Información</b>	J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XIX. Sergio Yegros (1820-1871) ... .. 124
	Noticias y Notas bibliográficas ... .. 128

### DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

Ríos Rósas, n.º 23 - 28003-Madrid  
Teléfono 441 70 67

### ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

Doctor Fleming, 7, 2.º - 28036-Madrid  
Teléfono 250 02 03

**INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA**

**CENTRO DE PUBLICACIONES**

**MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA**

MINERIA

# Estudio mineralógico, textural y geoquímico de las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena (2.ª Parte: Oxidación de paragénesis con greenalita-magnetita)

Por J. A. LOPEZ GARCIA (\*)

RESUMEN

En este trabajo (2.ª parte) se estudian las zonas de oxidación de los yacimientos de Fe-Pb-Zn de la Sierra de Cartagena, que proceden de la alteración supergénica de mineralizaciones estratiformes con paragénesis de magnetita-greenalita-sulfuros-carbonatos y sílice.

ABSTRACT

The oxidation zones proceeding from greenalite-magnetite-sulfides-carbonates and silica paragenesis of the stratiform ore deposits in the Sierra de Cartagena (Murcia) are studied in this paper. The evolution trend of the alteration process is also treated.

1. INTRODUCCION

En el trabajo previo a éste, se ha estudiado la zona de oxidación de las mineralizaciones asociadas al subvolcanismo terciario, que aparecen en Las Lajas y que se caracterizan por la presencia de casiterita junto a diversos minerales de Fe-Pb-Zn.

En este trabajo se estudian las zonas de oxidación, que proceden de las mineralizaciones primarias tipo manto, con una paragénesis primaria compuesta por greenalita-magnetita-sulfuros-carbonatos y sílice.

2. MINERALIZACIONES ESTRATIFORMES DE LA SIERRA DE CARTAGENA

El dominio interno de las Cordilleras Béticas en el que están encuadrados geológicamente los yacimientos de la Sierra de Cartagena, se caracteriza por una estructura de capas de origen alpino superpuestas que se conocen con los nombres, de

muro a techo, de Complejo Nevado-Filábride y Complejo Alpujárride. Dentro del Complejo Nevado-Filábride se distinguen dos unidades: Nevado-Filábride Inferior y Nevado-Filábride Superior, de edades paleozoico y permo-triásica a triásica, respectivamente.

Asimismo, el Complejo Alpujárride está compuesto por la unidad Alpujárride Inferior y la unidad Alpujárride Superior, ambas de edades permo-triásica y triásica (ver PAVILLÓN, 1969; EGER, 1969; ALLABERT, 1973; ESPINOSA GODOY et al., 1974, etc.).

Las mineralizaciones estratiformes existentes en la zona se conocen con el nombre de «mantos», y han sido ampliamente estudiadas (OEN et al., 1975; OVEJERO et al., 1976, y KAGER, 1980).

El primer manto aparece en la unidad Alpujárride Inferior, mientras el segundo manto aparece asociado a la unidad Nevado-Filábride Superior.

Ambos mantos pueden presentar dos tipos de paragénesis diferentes:

- Paragénesis con greenalita-magnetita-sulfuros-carbonatos y sílice.
- Paragénesis con sulfuros-carbonatos y sílice.

En este trabajo se han estudiado las zonas de oxidación que proceden de la alteración de una paragénesis primaria con greenalita-magnetita-sulfuros-carbonatos y sílice.

3. OXIDACION DE PARAGENESIS CON GREENALITA - MAGNETITA

Las mineralizaciones aparecen asociadas a rocas carbonatadas (calizas Alpujárrides en el caso del primer manto mineralizado, y mármoles Nevado-Filábrides en el caso del segundo manto), presentan una paragénesis compuesta por magnetita, pirita, marcasita, galena, esfalerita, calcopirita y otros sulfuros y sulfosales en menores proporciones (OEN et al., 1975). Los minerales de la ganga presentes son greenalita, carbonatos, sílice y cloritas, principalmente.

La mineralogía de las zonas oxidadas está compuesta por óxidos de hierro y manganeso como goethita, hematites, pirolusita, calcofanita y coronadita; sulfatos y carbonatos como anglesita, jarosita, alunita, baritina, yeso, anhidrita, beandautit, calcita, siderita, cerusita y smithsonita, junto con cuarzo, calcedonia, ópalo, cloritas y minerales

de la arcilla (OEN et al., 1975). Asimismo, existen en esta zona pequeñas cantidades de sulfuros secundarios (calcosina y covellina) y plata y cobre nativos (J. I. MANTECA, comunicación personal).

AMORÓS et al. (1981) comparan la mineralogía de las rocas oxidadas de la Sierra de Cartagena con las de Río Tinto; y LUNAR et al. (1982), estudian diversos aspectos mineralógicos y geoquímicos de estas zonas de oxidación.

Descripción de la zona

Las mineralizaciones con greenalita-magnetita tienen su máximo desarrollo en las canteras de San Valentín y Tomasa. En el corte geológico de la zona (fig. 1) se puede observar las masas pertenecientes al primer manto oxidado, que afloraban en San Valentín.

Hoy día la mayor parte de la zona de óxidos ha sido desmantelada, para la explotación a cielo abierto del yacimiento primario existente en profundidad, quedando únicamente restos del primer manto oxidado en la pared oeste de la cantera de San Valentín I, y una pequeña masa de óxidos, perteneciente al segundo manto oxidado, entre las canteras de San Valentín I y San Valentín II.

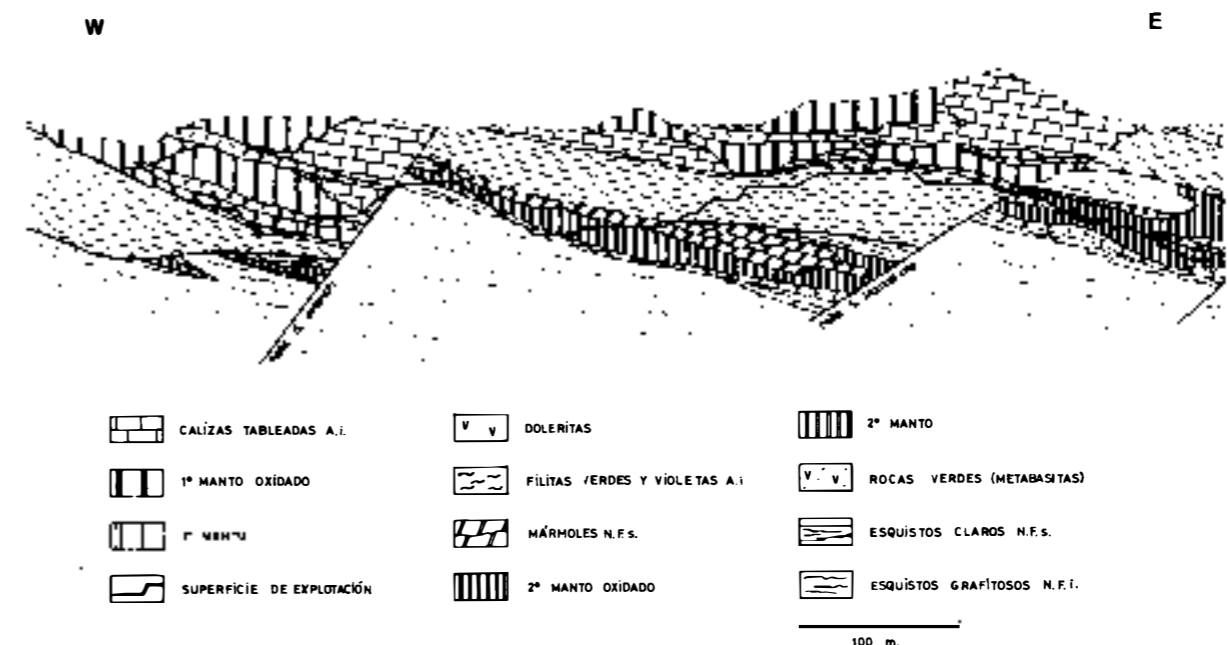


Figura 1.—Corte geológico de las canteras de S. Valentín y Tomasa (Servicio Geológico de la S. M. M. Peñarroya-España).

(\*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Universidad Complutense, Madrid.

Las rocas volcánicas (doleritas y metabasitas) que aparecen en los niveles mineralizados, han sufrido también procesos de oxidación supergénica.

### Mineralogía y texturas

Para el estudio mineralógico y textural, se han recogido muestras de mano, tanto del primero como del segundo manto oxidado, y se han estudiado asimismo muestras procedentes de testigos de sondeos, que cortaban el primer manto oxidado.

Dado que conocemos la paragénesis de la mineralización primaria, describiremos los procesos de alteración que sufre cada uno de los minerales que se han oxidado.

**Magnetita.**—Mineral mayoritario, aparece relacionado con la siderita formando fuertes intercrecimientos o bien en cristales de tamaño variable dentro de masas de siderita. Forma rosetas similares a las de los carbonatos, y puede aparecer también cristalizada en bandas como pseudomorfos de los carbonatos (fig. 2A), así como en cristales aislados idiomorfos o alotriomorfos.

Todos los tipos texturales de magnetita citados anteriormente, tienen su expresión en texturas réplica que aparecen en la zona de oxidación. Los intercrecimientos entre magnetita y siderita se transforman en un agregado de hematites, restos de magnetita y goethita. Los cristales de tamaño variable de magnetita incluidos en siderita quedan también transformados a hematites. De igual manera los agregados en forma de roseta, los cristales de magnetita en bandas y los cristales aislados, se alteran dejando su forma primitiva (fig. 2 B).

La alteración magnetita-hematites comienza a producirse generalmente por los planos (111), avanzando progresivamente la alteración hasta formar cristales pseudomorfos de hematites. Incluso cuando la magnetita ha sido completamente alterada, se puede observar en la hematites las características de anisotropía que indican su procedencia de magnetita.

**Siderita.**—Este mineral está presente en la mineralización asociado a magnetita, con la que forma frecuentemente intercrecimientos, ya citados anteriormente.

La siderita forma también a menudo agregados en forma de rosas (fig. 2 C), a veces con los cristales zonados.

Las formas procedentes de alteración de siderita son muy similares a las procedentes de oxidación de magnetita, ya que este mineral aparece en el yacimiento primario como pseudomorfo de los carbonatos. La diferencia en su alteración reside en la transformación de siderita a goethita, mientras que magnetita se transforma en hematites.

Se pueden observar las transformaciones siderita a goethita, que comienzan por los planos (1011) para avanzar posteriormente transformándose completamente en goethita, quedando los pseudomorfos de siderita junto a los de magnetita (figura 2 D).

Los contenidos en manganeso de la siderita pueden llegar hasta el 19% en  $\text{CO}_2\text{Mn}$ . El manganeso liberado por la alteración de las sideritas se deposita en forma de óxidos, junto a los carbonatos transformados o bien este elemento es transportado y depositado más tarde originando texturas coloidales típicas.

La composición química de los óxidos de manganeso es muy variable. En los análisis con microsonda electrónica se han encontrado óxidos de manganeso con el 20% de zinc, calcofanitas y con plomo, coronaditas. También existen otros óxidos de manganeso que contienen menores cantidades de hierro y zinc, depositados en huecos en los últimos estadios de la oxidación y a veces intercrecidos con cloritas.

**Pirita.**—Es un sulfuro que se altera en los primeros estadios de oxidación; se pueden observar muestras en las que la mineralización primaria está escasamente alterada, mientras la pirita ya ha sido transformada a goethita. Quedan en la zona de oxidación numerosas texturas réplicas de pirita; estas texturas pueden ser huecas o bien ser compactas.

**Esfalerita.**—El escaso contenido en la mineralización primaria hace que queden muy pocas texturas réplica de esfalerita. En los casos en los que se puede observar la transformación de esfalerita a goethita se detectan los entramados formados por ésta de forma incipiente, bien dentro de goethita masiva o bien formando un entramado hueco.

El zinc liberado en la oxidación de esfalerita es disuelto y redepositado, en zonas adyacentes, formando smithsonita, o bien formando óxidos de



Figura 2

- |   |  |
|---|--|
| A) Bandeados de siderita (Sd) y magnetita (Mt) pseudomorfa de la anterior. L. R.                          | E) Cristales idiomorfos de anglesita (Agl) empastados por goethita (gt). L. R.                               |
| B) Bandas de goethita (gt) y hematites (Hm), pseudomorfos de siderita y magnetita, respectivamente. L. R. | F) Texturas réplica de galena transformada a goethita. L. R.   |
| C) Cristales zonados de siderita (Sd). L. R.  | G) Goethita con texturas coloidales (gt) junto a querargirita (Og) y plata nativa (Ag). L. R.                |
| D) Hematites (Hm) pseudomorfo de magnetita, y siderita transformada en goethita (gt). L. R.               | H) Goethita (gt) con texturas réplica que conservan el entramado (111) de la calcopirita preexistente. L. R. |



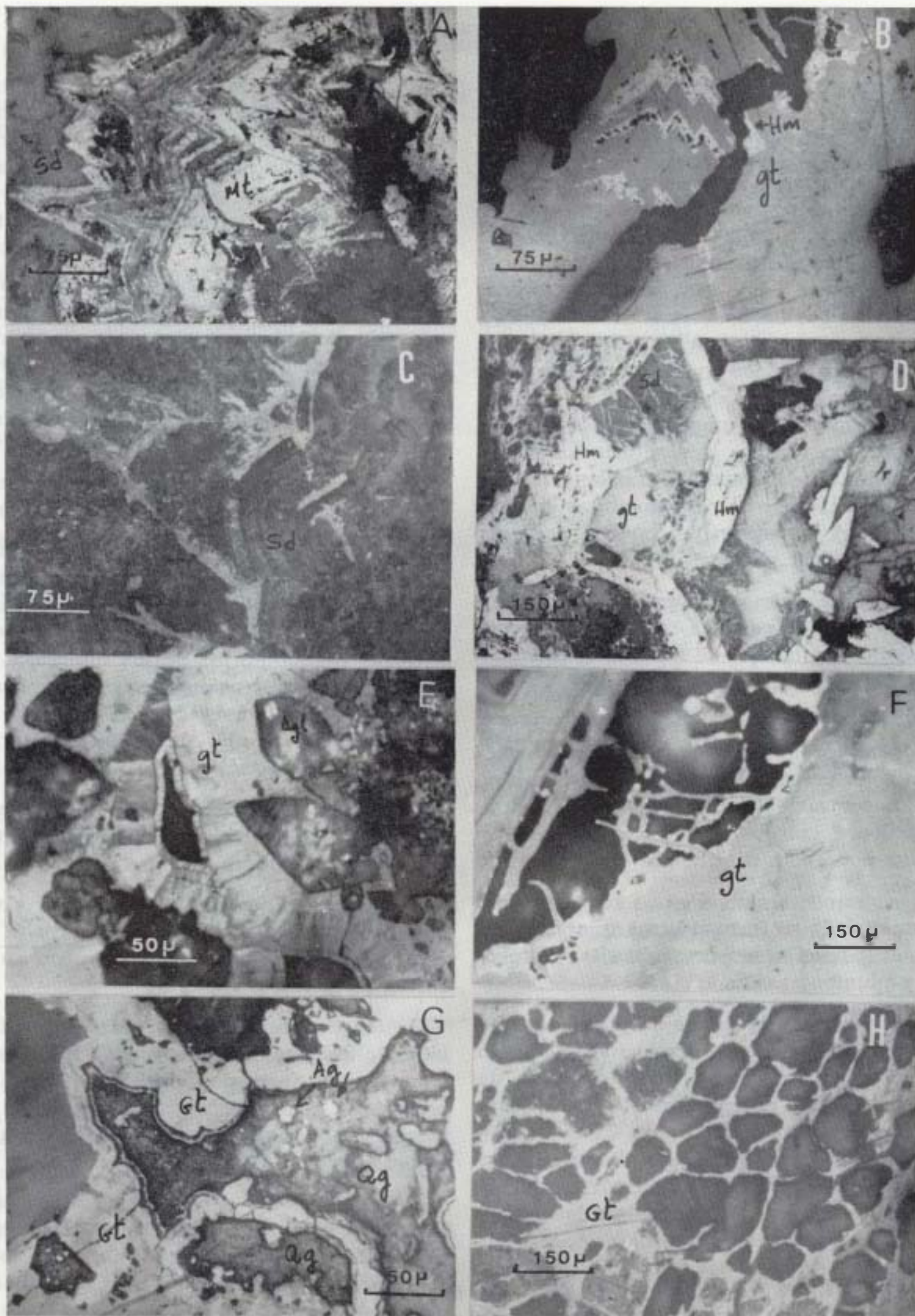


Figura 2

- A) Bandeados de siderita (Sd) y magnetita (Mt) pseudomorfa de la anterior. L. R.
- B) Bandas de goethita (gt) y hematites (Hm), pseudomorfos de siderita y magnetita, respectivamente. L. R.
- C) Cristales zonados de siderita (Sd). L. R.
- D) Hematites (Hm) pseudomorfo de magnetita, y siderita transformada en goethita (gt). L. R.
- E) Cristales idiomorfos de anglesita (Agl) empastados por goethita (gt). L. R.
- F) Texturas réplica de galena transformada a goethita. L. R.
- G) Goethita con texturas coloidales (gt) junto a querargirita (Og) y plata nativa (Ag). L. R.
- H) Goethita (gt) con texturas réplica que conservan el entramado (111) de la calcopirita preexistente. L. R.

manganeso, ya citados anteriormente, como calcofanita.

**Galena.**—La alteración de galena se produce muy tempranamente, aunque las películas de cerusita y anglesita, que se forman por esta alteración, retardan la oxidación completa del mineral. La galena comienza la transformación a cerusita o anglesita por los planos (100); esta alteración avanza progresivamente por los contornos del cristal, hasta llegar a la total transformación a anglesita. Con frecuencia pueden quedar en el interior de estos cristales pequeños relictos de galena. Los cristales de anglesita formados son empastados por goethita (fig. 2 E), que los recubre, generalmente con texturas coloidales. En los análisis mediante microsonda electrónica, alguna de las goethitas coloidales que bordean las anglesitas pueden contener hasta el 4 por 100 de plomo.

La transformación de galena puede ser también a cerusita o bien a goethita, dejando entonces texturas réplica, en las que se observa el entramado cúbico del mineral oxidado (fig. 2 F).

La formación de anglesita y cerusita da lugar a zonas oxidadas locales, muy enriquecidas en plomo. En la zona oeste de San Valentín se pueden observar concentraciones de cerusitas y anglesitas, en ocasiones, con los mismos procesos de recubrimiento por goethita, que los observados al microscopio.

De forma aislada se forman otros minerales secundarios de plomo, como beaudautita, plumbogummita y plumbogarosita.

Con la alteración de la galena, la plata que contiene este mineral, queda en disolución, pudiendo ser transportada hacia zonas más profundas de la zona de oxidación, redepósito como plata nativa, y querargirita. En la figura 2 G se muestran cristales de querargirita, con plata nativa en el núcleo, que han sido analizados por medio de microsonda electrónica. Se encuentran asimismo querargirita sin núcleos de plata.

**Calcopirita.**—Se pueden observar texturas de alteración de este mineral, que comienzan por los planos 110 y bordes de grano con transformación a covellina y calcosina, pasando posteriormente a goethita.

El cobre disuelto, forma sulfuros secundarios como covellina y calcosina, que en ocasiones sustituyen a piritita; o bien carbonatos básicos de co-

bre como malaquita y azurita o precipita en forma de cobre nativo. Se encuentran localmente enriquecimiento de malaquita, con texturas coloidales empastando cuarzos. Se originan asimismo texturas réplica de goethita que conservan el entramado 110 de la calcopirita preexistente (figura 2 H).

Los minerales de la ganga han sufrido también los procesos de oxidación; la greenalita es alterada, dando lugar a óxidos de hierro y sílice. Los óxidos de titanio (ilmenita y rutilo) permanecen en la zona de oxidación, bien sin alterar o parcialmente transformados en anatasa en el caso de la ilmenita.

En resumen, la mineralogía de las zonas de oxidación procedentes de la paragénesis con greenalita-magnetita está compuesta principalmente por:

**Goethita.**—Procede de la transformación de siderita, y piritita principalmente. Existen dos generaciones de goethita; una que se presenta con texturas pseudomorfas de los minerales que sustituye, y otra generación que se encuentra formando texturas masivas y coloidales y que empasta a todos los minerales depositados anteriormente en la zona de oxidación.

**Hematites.**—Procedente de la alteración de magnetita. Generalmente mantiene las texturas primitivas de este mineral.

**Anglesita.**—Mineral de plomo más abundante, aunque localmente predominen cerusita o plumbogarosita. En ocasiones conserva en su interior restos de galena sin alterar.

**Oxidos de manganeso.**—Proceden de la alteración de siderita. Se han reconocido dos generaciones: unos formados «in situ» junto a los carbonatos, y otra generación, formada más tarde, después de una solución y transporte del manganeso.

**Smithsonita.**—Se encuentra en zonas de contacto con carbonatos, donde el zinc ha sustituido al calcio, dando lugar a enriquecimientos locales. El contenido en zinc puede llegar al 10 por 100 en peso.

Se pueden encontrar de forma accidental numerosas especies minerales, que no constituyen concentraciones importantes desde el punto de vista económico, como son *beaudantita*, *plumbogummita*, *covellina*, *calcosina*, *malaquita*, *azurita*, *cobre nativo*, *plata nativa* y *querargirita*.

### Distribución geoquímica de los elementos Fe, Pb, Zn, Ag

La composición media de la paragénesis primaria con greenalita-magnetita, así como la correspondiente a las zonas de oxidación procedentes de esta paragénesis, en las canteras de San Valentín y Tomasa, están expresadas en la tabla 1. Se puede observar un enriquecimiento en plomo y plata, de las zonas oxidadas con respecto a la mineralización primaria, así como el fuerte empobrecimiento en zinc. También están empobrecidos con respecto a la paragénesis primaria en calcio y magnesio, y azufre.

TABLE 1

### Composición en las paragénesis primarias y zonas oxidadas en S. Valentín y Tomasa

	Composición mineralización primaria	Composición oxidada en San Valentín y Tomasa
SiO <sub>2</sub> ... ..	45 %	41 %
Fe ... ..	35 %	42 %
MgO-CaO ... ..	3 %	0,7 %
S ... ..	3 %	0,8 %
Pb ... ..	1 %	2 %
Zn ... ..	1,5%	0,25%
Ag ... ..	15 ppm	30 ppm

El leve descenso en sílice, se debe a la alteración de los silicatos y a su pérdida parcial por disolución y transporte.

De los sondeos 931-K-II y 923-KL-1, que cortan el primer manto oxidado y de alguna de las muestras estudiadas de la cantera de San Valentín, correspondientes al segundo manto oxidado, se ha hecho separación magnética y de cada una de las fracciones obtenidas se han realizado análisis químico de Fe, Pb, Ag y Zn, así como del residuo con tamaño de grano menor de 0,12 mm., obtenido en el proceso de molienda previo a la separación.

**Hierro.**—Los contenidos en hierro de las diferentes muestras y fracciones analizadas, están expresados en la tabla 2.

Los tramos más profundos de los sondeos, que

TABLE 2

### Contenido en hierro de las diferentes muestras y fracciones analizadas

Fracción Muestra	Todo uno	0,12 mm.	N. M.	I	M
93-K-II					
5,00-7,70 m. ...	36,12	32,75	7,75	40,2	41,1
7,70-10,2 m. ...	23,04	13,5	2,45	29,25	44,1
12,2-13,3 m. ...	7,49	9,3	4,3	11,3	29,15
18,2-19,6 m. ...	18,1	17,3	13,95	19,7	20,5
923 KL-1					
10,8-12,4 m. ...	36,11	36,5	8,85	39,6	48,4
12,4-15,0 m. ...	38,11	40,5	12,0	36,9	48,35
15,0-17,7 m. ...	27,73	37,5	5,7	28,6	49,6
17,7-19,3 m. ...	35,22	39,8	10,15	37,8	49,5
19,3-21,8 m. ...	18,5	26,45	8,1	34,7	46,5
21,8-22,8 m. ...	11,54	10,0	6,05	39,9	48,5
2.º Manto					
S. Valentín 1 ..	47,6	46,15		45,0	49,0
S. Valentín 2 ..	46,5	46,5	8,0	44,05	49,5
S. Valentín 3 ..	46,25	46,2	42,1	47,2	—
S. Valentín 4 ..	40,7	39,9	23,9	43,3	44,0
S. Valentín 5 ...	34,0	31,8	4,7	43,5	49,8

0,12 mm: Residuo de la molienda.

N. M.: Fracción no magnética a 0,5 Amp.

I: Fracción no magnética a 0,3 Amp.

M: Fracción magnética a 0,3 Amp.

presentan los contenidos más bajos en hierro, corresponden a tramos cloríticos, impregnados por goethita procedente de la mineralización oxidada. Se puede observar, por otra parte, que las muestras procedentes del segundo manto tienen un contenido mayor en hierro que las muestras procedentes del primer manto; esto a su vez corresponde con una mineralogía más pobre en sílice en las muestras del segundo manto.

En cuanto a la distribución del hierro en las distintas fracciones, hay que señalar que la fracción no magnética es la que presenta los contenidos más bajos, excepto en algún caso aislado. El hierro de esta fracción no magnética, proviene en su mayor parte de las goethitas que se asocian a la sílice y en menor proporción de otros minerales.

Las fracciones intermedia y magnética, presentan unos contenidos en hierro bastante semejantes, si bien siempre algo más altos en las fracciones magnéticas. Las asociaciones mineralógicas de las fracciones intermedias son generalmente



de goethita, y en menor cantidad clorita y óxidos de manganeso. Las fracciones magnéticas contienen principalmente hematites y goethita, y en menor proporción magnetita, que ha permanecido sin alterar, y más esporádicamente siderita.

**Plomo.**—Los contenidos en plomo de las diferentes muestras y fracciones están expresados en la tabla 3.

La distribución de plomo en las muestras analizadas es irregular; generalmente en los sondeos estudiados se observa un paulatino descenso en este elemento desde los tramos oxidados próximos a la superficie, hasta los niveles situados a mayor profundidad. Las muestras del segundo manto, tomadas en un mismo nivel, muestran una fuerte variación de los contenidos en plomo a pequeñas distancias.

Las fracciones no magnéticas, aparecen como las más ricas en plomo, en los niveles más próximos a la superficie, coincidiendo con la presencia de anglesita, y en menor cantidad de cerusita.

TABLA 3

Contenido en plomo de las distintas muestras y fracciones analizadas

Fracción Muestra	Todo uno	0,12 mm.	N. M.	I	M
931-K-II					
5,00-7,75 m. ...	2,17	2,09	6,6	2,92	0,68
7,75-10,25 m. ...	1,24	0,89	0,35	1,43	1,71
12,20-13,10 m. ...	0,55	0,71	0,7	0,72	1,06
18,20-19,60 m. ...	0,29	0,22	0,48	0,26	0,13
923-KL-1					
10,80-12,45 m. ...	4,7	7,11	7,35	2,3	1,44
12,45-15,00 m. ...	1,85	1,75	1,94	0,98	1,37
15,00-17,60 m. ...	1,6	2,85	1,05	1,48	2,84
17,60-19,30 m. ...	2,15	3,15	0,9	2,0	2,25
19,30-21,80 m. ...	1,57	2,38	1,02	2,65	2,50
21,80-22,80 m. ...	1,32	2,00	0,75	2,65	2,35
2.º manto					
S. Valentín 1	0,78	0,77		0,66	0,52
S. Valentín 2	0,3	0,29	0,16	0,26	0,33
S. Valentín 3	3,52	3,5	2,9	3,5	—
S. Valentín 4	2,95	2,98	1,75	2,9	3,34
S. Valentín 5	2,0	3,3	0,62	1,22	1,12

0,12 mm: Residuo de la molienda.  
N. M.: Fracción no magnética a 0,5 Amp.  
I: Fracción no magnética a 0,3 Amp.  
M: Fracción magnética a 0,3 Amp.

Los mayores contenidos en plomo en las fracciones intermedia y magnética, se corresponde con la presencia de óxidos de manganeso, y en el caso particular del segundo manto por la existencia de plumbojarosita. También la goethita, como ya se ha descrito, puede presentar en algunos casos diversos contenidos en plomo, y se concentra asimismo en las fracciones intermedia y magnética.

En resumen, el plomo puede concentrarse en las tres fracciones dependiendo de la mineralogía; en las zonas más superficiales, lo hace generalmente en la fracción no magnética, y en niveles más profundos en las fracciones intermedia y magnética.

**Plata.**—Los contenidos en plata de las diferentes muestras y fracciones analizadas están expresados en la tabla 4.

La distribución de plata en las muestras es, al igual que el plomo, muy irregular, tanto en horizontal como en profundidad. En los sondeos estudiados se puede observar una cierta tendencia a

TABLA 4

Contenido en partes por millón de plata en las distintas muestras y fracciones analizadas

Fracción Muestra	Todo uno	0,12 mm.	N. M.	I	M
931-K-II					
5,70-7,75 m. ...	15	26	60	18	15
7,75-10,25 m. ...	80	69	36	91	73
12,20-13,10 m. ...	39	40	38	14	45
18,20-19,60 m. ...	2	4	5	3	3
923-KL-1					
10,80-12,45 m. ...	30	65	74	25	19
12,45-15,00 m. ...	30	45	30	23	50
15,00-17,60 m. ...	44	11	58	4	5
17,60-19,30 m. ...	68	36	145	17	20
19,30-21,80 m. ...	62	65	85	30	63
21,80-22,80 m. ...	49	54	185	23	22
2.º manto					
S. Valentín 1	27	26	—	6	18
S. Valentín 2	80	72	?	33	50
S. Valentín 3	150	150	49	29	—
S. Valentín 4	17	14	?	8	13
S. Valentín 5	5	6	3	4	5

0,12 mm: Residuo de la molienda.  
N. M.: Fracción no magnética a 0,5 Amp.  
I: Fracción no magnética a 0,3 Amp.  
M: Fracción magnética a 0,3 Amp.

concentrarse en la base de las zonas oxidadas, en el contacto con los niveles cloríticos situados inmediatamente debajo. En horizontal, su distribución es también sumamente irregular, encontrándose muestras con contenidos en plata muy altos junto a otras de muy baja concentración, situadas muy próximas.

En cuanto a su distribución en las diferentes fracciones es asimismo muy desigual, ya que en niveles cercanos pasa de concentrarse en las fracciones no magnéticas, a hacerlo en las intermedias y magnéticas.

Las asociaciones mineralógicas de la plata son de querargirita y plata nativa en las fracciones no magnéticas y con jarositas y goethitas en las fracciones intermedia y magnética, pero debido al pequeño tamaño de grano de la querargirita y la plata nativa, como estos minerales se encuentran junto a goethita, en el proceso de separación magnética pueden ser arrastrados con ésta, y concentrarse en las fracciones magnéticas e intermedias.

**Zinc.**—Los contenidos en este elemento en las diferentes muestras y fracciones están expresados en la tabla 5.

La presencia de zinc en estas zonas oxidadas es relativamente baja con respecto a la mineralización primaria.

El zinc procedente de la destrucción de esferita y de algunas sideritas, que pueden llevar contenidos pequeños de este elemento, es lixiviado y transportado hacia las zonas de borde, donde al reaccionar con los carbonatos, da lugar a concentraciones de smithsonita, encontrándose niveles en estas zonas de borde con el 10 por 100 de zinc.

En las zonas oxidadas, el zinc que no ha emigrado se deposita principalmente como óxidos de manganeso, calcofanita, y smithsonita, o en pequeñas proporciones dentro de otros óxidos de manganeso y goethita. La smithsonita se concentra en las fracciones no magnéticas, y los óxidos de manganeso en las fracciones intermedias y magnética.

#### Evolución de la alteración

Las características mineralógicas del yacimiento primario, compuesto por magnetita, pirita, galena, esfalerita y calcopirita, como minerales de la mena,

TABLA 5  
Contenidos en zinc de las distintas muestras y fracciones analizadas

Fracción Muestra	Todo uno	0,12 mm.	N. M.	I	M
931-K-II					
5,00-7,75 m. ...	0,4	0,64	0,29	0,23	0,7
7,75-10,25 m. ...	0,14	0,07	0,04	0,08	0,13
12,20-13,10 m. ...	0,09	0,29	0,07	0,16	0,32
18,20-19,60 m. ...	0,13	0,13	0,05	0,11	0,14
923-KL-1					
10,80-12,45 m. ...	0,19	0,21	0,08	0,23	0,25
12,45-15,00 m. ...	0,14	0,11	0,04	0,11	0,10
15,00-17,60 m. ...	0,15	0,18	0,05	0,12	0,21
17,60-19,30 m. ...	0,23	0,21	0,11	0,2	0,22
19,30-21,80 m. ...	0,13	0,15	0,10	0,18	0,2
21,80-22,80 m. ...	0,12	0,12	0,10	0,2	0,17
2.º manto					
S. Valentín 1	0,04	0,03	—	0,03	0,03
S. Valentín 2	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04
S. Valentín 3	0,69	0,72	0,59	0,50	—
S. Valentín 4	0,33	0,35	0,18	0,31	0,32
S. Valentín 5	0,19	0,25	0,04	0,30	0,32

0,12 mm: Residuo de la molienda.  
N. M.: Fracción no magnética a 0,5 Amp.  
I: Fracción no magnética a 0,3 Amp.  
M: Fracción magnética a 0,3 Amp.

y por grenalita y siderita como minerales más abundantes de la ganga, determinan los procesos de oxidación de estas zonas.

El primer estadio de alteración, comienza con la oxidación de la pirita alotriomorfa de grano fino, y de marcasita, cuando este mineral está presente. Con la acidificación del medio, la calcopirita, galena y esfalerita, así como la siderita comienzan a oxidarse en un segundo estadio.

La calcopirita se transforma en goethita, quedando algunas texturas réplicas, en las que se reconoce el entramado de la calcopirita preexistente, ya descrito en este capítulo. El cobre liberado en la destrucción de calcopirita, queda en solución y va a formar diferentes especies minerales en etapas posteriores.

La galena comienza su oxidación antes que la esfalerita, si bien las capas de anglesita y cerusita, que se forman alrededor de la galena, van a retardar la oxidación completa. Con el aumento de la actividad de  $SO_4^{2-}$ , se produce la transfor-

mación a anglesita de la galena; dependiendo de la concentración de CO<sub>2</sub>, y del aumento del pH, la anglesita puede transformarse en cerusita, encontrándose muestras de ésta, con texturas pseudomorfas de anglesita (LUNAR et al., 1982). La existencia de cerusita o anglesita depende de la actividad de SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, relacionada con la menor o mayor cantidad de piritita (SANGAMESHWAR, 1983).

La esfalerita se transforma en goethita, quedando algunas texturas réplicas ya indicadas. El zinc liberado en su destrucción es transportado en solución, para ser depositado más tarde, y en su mayor parte lixiviado.

Los cristales idiomorfos de piritita se alteran en un segundo estadio, posteriormente a los restantes sulfuros. En algunos casos la piritita es sustituida por sulfuros secundarios de cobre, como calcosina y covellina, que mantienen el hábito de la piritita sustituida. Sin embargo, la mayor parte de la piritita es transformada en goethita, quedando numerosas y variadas texturas réplica, tanto huecas como compactas. Localmente, la abundancia de piritita, y menor presencia de carbonatos, puede dar lugar a zonas con un pH muy bajo, formándose jarosita, estas zonas de jarosita localizadas en el segundo manto, pueden contener plomo y plata en cantidades mayores a la media, e irían incluidos en la jarosita.

La siderita se oxida y da lugar a la formación de goethita pseudomorfa en este segundo estadio, la destrucción de siderita va a impedir la excesiva acidificación del medio, con lo que el hierro procedente de su alteración es depositado sin transporte, lo que facilita la conservación de las texturas réplica de los carbonatos. El manganeso contenido en la siderita, es liberado, quedando en solución para ser depositado más tarde, en su mayor parte; o bien ser precipitado «in situ», junto con el zinc que contiene la siderita en pequeñas cantidades, formando calcofanitas.

En zonas donde el contenido en CO<sub>2</sub> es alto, generalmente próximas a la superficie, la siderita puede permanecer sin alterar, encontrándose magnetitas alteradas a hematites, junto a sideritas sin oxidar.

La greenalita se altera igualmente, dando lugar a la formación de goethita y sílice; esta sílice puede ser transportada, y redepositada, dando lugar a zonas fuertemente silicificadas, y oquero-

sas con una composición casi exclusiva de goethita y cuarzo tipo calcedonia.

La magnetita es el último mineral en alterarse, comienza por los planos (111) y avanza hasta su completa transformación a hematites. Se encuentran numerosas muestras, en las que toda la mineralización primaria ha sido oxidada, y quedan únicamente algunos relictos de magnetita dentro de la masa de hematites; conservándose textura réplica de magnetita en toda la zona de oxidación.

En un tercer estadio de alteración, se van a formar nuevos minerales, a partir de los elementos liberados en la destrucción de la mineralización primaria. Los sulfuros secundarios de cobre, formados en sustitución de piritita, pueden ser destruidos si continúa la oxidación formándose goethita en su lugar. El cobre da lugar a acumulaciones locales, en forma de malaquita y azurita, en zonas superficiales con abundancia de CO<sub>2</sub>, y de cobre nativo, más esporádicamente.

Pequeñas cantidades de plomo, procedente de la destrucción de anglesita, junto con el manganeso, procedente de los carbonatos, van a depositarse como coronaditas, y otros óxidos de manganeso con pequeños contenidos en plomo.

Parte del zinc liberado, por la oxidación de esfalerita, queda en la red de los óxidos de manganeso, depositándose en zonas de huecos. La mayor parte del zinc, sin embargo, es transportada hacia las zonas de borde, donde reacciona con los carbonatos, formando smithsonita.

La plata procedente de la oxidación de galena, puede ser transportada a los niveles más profundos de la zona de oxidación, en los que se presentan enriquecimientos en este elemento, pudiendo ser depositada como plata nativa, como querargirita que envuelve a aquélla, o bien en las zonas ricas en piritita, incluida en la estructura de los minerales del grupo de la jarosita.

Parte del hierro, procedente de la oxidación, no depositado «in situ», es transportado, y redepositado como goethita, que puede contener pequeñas cantidades de plomo, forma texturas coloidales que envuelven a todos los minerales depositados anteriormente.

En resumen, el proceso de oxidación en zonas con paragénesis de greenalita y magnetita ha seguido los siguientes pasos (fig 3):

## BIBLIOGRAFIA

- ALLABERT, J. (1973): *La province plombo-zincifère des Cordillères Bétiques (Espagne méridional). Essai typologique.* Thèse Université de Nancy I, 148 pp.
- AMORÓS, J. L.; LUNAR, R., y TAVIRA, P. (1981): *Jarosite. A silver bearing of the gossan of Rio Tinto (Huelva) and La Union (Cartagena), Spain.* Mineral. Deposita, vol. 16, pp. 205-213.
- EGELER, C. G., y SIMON, O. S. (1969): *Sur la tectonique de la zone bétique: Koninkl. Nederlanse Akad. Wetensch. Verh. Ard. Natuurk. ser. 1 v. 25, núm. 3, 90 pp.*
- ESPINOSA-GODOY, J.; MARTÍN-VIVALDI, J. M., y PÉREZ-ROJAS, A. (1974): *Mapa geológico de España E. 1:50.000, Hoja 977 (Cartagena) y 978 (Llano el Beal).* Inst. Geol. y Min. España, Madrid.
- KAGER, P. C. (1980): *Mineralogical investigations on sulphides, Fe-Mn-Zn-Mg-Ca Carbonates, greenalite and associated minerals in the Sierra de Cartagena. Province of Murcia. S.E. Spain.* Gwa papers of Geology. Series 1, núm. 12, Amsterdam, 204 pp.
- LUNAR, R.; MANTECA, J. I.; RODRÍGUEZ, P., y AMORÓS, J. L. (1982): *Estudio mineralógico y geoquímico del gossan de los depósitos de Fe-Pb-Zn de la Unión (Sierra de Cartagena).* Bol. Geol. Min., t. XCIII-III, pp. 244-253.
- OEN, I. S.; FERNÁNDEZ, J. C., y MANTECA, J. I. (1975): *The Lead-Zinc and associated ores of La Union, Sierra de Cartagena, Spain.* Econ. Geol., vol. 70, pp. 1259-1278.
- OVEJERO, G.; JACQUIN, J. P., y SERVAJEAN, G. (1976): *Les minéralisations et leur contexte géologique dans la Sierra de Cartagena (Sud. Est. de L'Espagne).* Bull. Soc. Geol. France (7), t. XVIII, pp. 619-633.
- PAVILLON, M. J. (1969): *Les minéralisations prombo-zincifères de Cartaghene (Cordillères Bétiques, Espagne). Un exemple d'heritages sucessifs en metallogenie.* Mineral. Deposita, vol. 4, pp. 368-385.
- SANGAMESHWAR, S. R., y BARNES, H. L. (1983): *Supergene processes in zinc-lead-silver sulphide ores in carbonates.* Econ. Geol., vol. 78, pp. 1379-1397.

Recibido: Enero 1987.

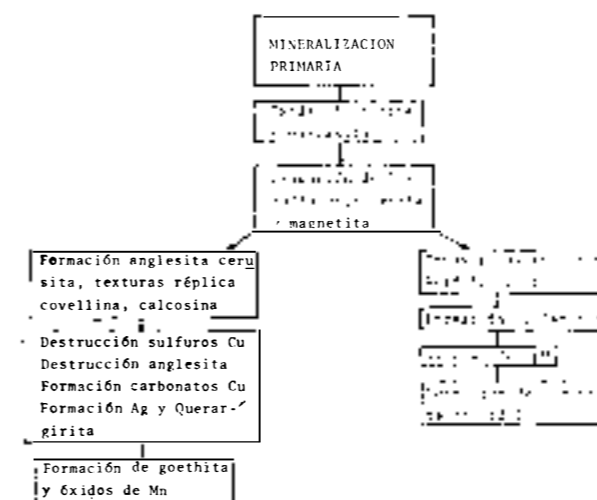


Figura 3.—Secuencia de la alteración supergénica de la paragénesis primaria con greenalita-magnetita.

- Oxidación de piritita alotriomorfa y marcasita: — Acidificación del medio.
- Oxidación de los restantes sulfuros y sideritas: — Liberación de Pb, Zn, Mn y Cu. — Formación de anglesita, cerusita y sulfuros secundarios de cobre. — Formación de goethita pseudomorfa. Destrucción de magnetita. — En zonas ricas en piritita, descenso del pH.
- Destrucción de los sulfuros secundarios de cobre: — Localmente destrucción de anglesita. — Formación de minerales secundarios de cobre (malaquita, azurita y cobre nativo). — Formación de plata nativa y querargirita. — En zonas con bajo pH, formación de jarosita. Formación de goethita y óxidos de manganeso con texturas coloidales, y contenidos variables en hierro, plomo y zinc.