

V. ANGELELLI, M. K. DE BRODTKORB, H. B. NICOLLI
E I. B. A. SCHALAMUK

ESTUDIO SOBRE BLENDAS ARGENTINAS

De la «Revista de la Asociación Geológica Argentina», Tomo XXVIII, Nº 3



BUENOS AIRES
IMPRENTA CONI S.A.C.I.F.I.
684, CALLE PERÚ, 684

1973

ESTUDIO SOBRE BLENDAS ARGENTINAS

POR V. ANGELELLI *, M. K. DE BRODTKORB **, H. B. NICOLLI **
E I. B. A. SCHALAMUK **¹

RESUMEN

En este trabajo se presenta una investigación geoquímica y mineralógica de blendas pertenecientes a 18 yacimientos argentinos de distinta posición genética. En cada muestra se determinaron sus características físicas (densidad, microdureza, parámetro α_0 , textura, etc.) como también su composición química. Del estudio de la distribución de los elementos acompañantes del cinc (Fe, Mn, Cd, Co, In, Ga y Ge) se esboza, en líneas generales, una cierta ley de concentración de los mismos conforme con las condiciones de depositación (temperatura y presión) de las blendas.

ABSTRACT

Sphalerites from 18 argentine ore deposits of different genetic position are studied under a geochemical and mineralogical point of view. Their physical characteristics (density, microhardness, parameter α_0 , texture, etc.) and their chemical composition, are determined. The distribution of zinc associated elements (Fe, Mn, Cd, Co, In, Ga and Ge) suggest contents-law depending on deposition temperature and pressure of sphalerites.

INTRODUCCION

La realización de este trabajo ha constituido una larga aspiración de parte de algunos de sus autores, por determinar la geoquímica de los elementos contenidos en nuestras blendas y acorde con los resultados que se obtuviesen, sacar conclusiones —parangonándolos con los registrados en estudios ya efectuados— respecto de sus características físicas y contenido en elementos menores y elementos trazas, en vinculación con las condiciones de depositación de dicho sulfuro.

Representa un gran esfuerzo particularmente en su aspecto analítico, a cuyo efecto se recurrió a análisis espectrográficos y químicos y a la técnica de la activación neutrónica, aplicada a minerales por primera vez en el país.

1. CONSIDERACIONES GENERALES ACERCA DE LA BLENDA

La blenda o esfalerita, uno de los sulfuros más comunes, está presente prácticamente en todas las concentraciones de sulfuros hipogénicos, tanto en aquéllos relacionados con procesos de reemplazo pirometasomático cuanto en los correspondientes a depositaciones de carácter epitermal.

Se caracteriza por ser portadora de elementos tales como Fe, Mn y Cd en proporciones variables, generalmente

* Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata.

** Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

¹ Con la colaboración de I. N. Cohen y N. D. Rudelli en el análisis por activación neutrónica y de F. Azcoaga y D. A. Batistoni en el análisis espectrográfico.

menores del 1 % para los dos últimos, llegando hasta más del 10 % para el caso de Fe. Deer, Howie y Zussman (1962) mencionan contenidos extremos del 26 % para Fe y hasta 4-5 % para Cd y Mn. Los oligoelementos más característicos son: In, Ge, Ga, Co y Tl.

Se trata de uno de los minerales más estudiados debido al contenido de los elementos citados precedentemente. Al respecto, Fleischer (1955) se refiere a la existencia de más de 100 títulos; presenta dos extensas tablas en las que indica el contenido de elementos menores y trazas, indicando además las condiciones de máxima concentración de los mismos.

Desde hace casi 20 años se vienen realizando estudios experimentales de subsólidos en sistemas de fases ZnS-FeS , ZnS-FeS-FeS_2 ; diagramas de equilibrio de Fe-Zn-S, etc., con sugerencias de aplicación de la blenda como elemento geotermométrico e incluso geobarométrico.

Las blendas, acorde con las condiciones de deposición, presentan desmezclas (exsoluciones) de calcopirita, pirrotina e incluso de estannita.

La estructura cristalina teórica de la blenda, puede presentar imperfecciones por sustituciones de cinc y también del azufre, por Se y O en el caso de las blendas sintéticas; por defectos de estructura, dislocaciones, inclusiones, etc.

El estudio de blendas por difracción de rayos X (Smith, 1955) ha demostrado la existencia de varios tipos posibles de empaquetamiento cúbico y hexagonal. Dicho autor manifiesta que las blendas ópticamente isotrópicas son raras, aproximándose a tal condición las de yacimientos de alta temperatura; en tanto que las originadas a baja temperatura muestran mezclas politípicas sustancialmente con empaquetamiento hexagonal (como el de la wurzita). Es motivo de investigaciones actuales la relación entre los tipos de empaquetamiento, composición, temperatura y otras condiciones de cristalización.

Respecto de la dimensión de la celda unitaria (Skinner, 1961), como re-

sultado de un extenso estudio de fases en relación al sistema ZnS, FeS y MnS , ésta podría ser expresada en término de su composición por la siguiente ecuación:

$a_0 = 5,4093 + 0,00045X + 0,00424Y + 0,00202Z$, donde X, Y y Z representan contenidos, en moles por ciento de FeS , CdS y MnS , en (Å) angstrom. La dimensión de la celda a 25° sería de $5,4093 \pm 0,002 \text{ Å}$.

Las esfaleritas han sido asimismo investigadas desde el punto de vista de sus propiedades respecto de la relación que guardarían sus contenidos, esencialmente en Fe, con su reflectividad, microdureza, densidad y luminiscencia.

Kullerud, 1953 (citado por Scott y Barnes, 1971) realiza el estudio del sistema binario ZnS-FeS y sugiere el uso de la blenda como geotermómetro. Más adelante, Barton y Kullerud (1957 y 1958) señalan que el conjunto blenda-pirita puede ser empleado como termómetro geológico si se conoce la presión parcial del vapor de azufre. Las investigaciones realizadas por Barton y Toulmin (1966) concluyen que las condiciones de equilibrio del sistema Fe, Zn, S se mantienen entre 580° y 850° C, siendo de interés geológico el conjunto de blenda + pirita + pirrotina, pero desafortunadamente estos diagramas de equilibrio no pueden ser extrapolados a temperaturas inferiores, siendo por ello no aplicables a depósitos originados a baja temperatura.

Scott y Barnes (*op. cit.*), continuando esta apasionante investigación con miras a definir, como otros autores, la factibilidad de utilizar la blenda como geotermómetro, demuestran que el FeS contenido en la blenda aún en equilibrio con la pirrotina, no es aconsejable —sin la información de la fugacidad del azufre— como elemento geotermométrico. Más interés geológico ofrecería la triple fase blenda-pirita-pirrotina. Cálculos apoyados en experimentos hidrotermales respecto de la composición de la blenda en equilibrio con pirita y pirrotina hexagonal, podrían ser de apli-



Plano de ubicación de los yacimientos considerados

cación como geobarómetro ya que hay pocas herramientas geológicas al respecto.

1. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las blendas motivo del presente estudio corresponden a yacimientos de muy distinta formación genética y proceden, en su mayor parte, de muestras de colecciones existentes en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata y del Servicio Nacional Minero-Geológico (ex-Dirección Nacional de Geología y Minería).

Se procuró que dichas esfaleritas co-

rrespondieran a depósitos hidrotermales, de variadas condiciones de temperatura, dentro de la zonación hidrotermal, incluyendo algunas relacionadas con procesos pirometasomáticos. En el conjunto predominan las que pertenecerían a la zona mesotermal, ya que en ella están comprendidos la mayoría de nuestros yacimientos plumbo-cincíferos.

En el cuadro I se señala la procedencia de las muestras, la asociación mineralógica predominante, los elementos característicos y el tipo de yacimiento a que pertenece la blenda en cada caso, acorde con el conocimiento que se tiene sobre el particular (Angelelli, *et al.*, 1970). (Ver plano de ubicación).

CUADRO I

Blendas de yacimientos argentinos

Muestra	Procedencia	Asociación mineralógica	Elementos	Tipo de yacimiento
1....	«Pumahuasi»-Jujuy	Galena, blenda, pirita, baritina, anquerita	Pb, Zn	Epitermal
2....	Sierra de Aguilar, Jujuy (blenda oscura)	Galena, blenda, pirita, pirrotina, calcopirita, silicatos (rodonita, bustamita, wollastonita, etc.), cuarzo	Pb, Zn, Ag	Pirometasomático, Hipotermal (?)
3....	Sierra de Aguilar, Jujuy (blenda clara)	Galena, blenda, pirita, pirrotina, calcopirita, silicatos (rodonita, bustamita, wollastonita, etc.), cuarzo	Pb, Zn, Ag	Pirometasomático, Hipotermal (?)
4....	Alto de la Blenda, Agua de Dionisio, Catamarca	Blenda, minerales de manganeso, cuarzo	Au, Mn	Epitermal
5....	Capillitas, Catamarca	Enargita, calcopirita, bornita, cuarzo, galena, blenda, rodocrosita	Cu, Pb, Zn, Au, Ag	Mesotermal-Epitermal
6....	«La Peregrina», Famatina, La Rioja	Argentita, proustita, blenda, galena en siderita	Ag	Mesotermal

CUADRO I (Cont.)

Muestra	Procedencia	Asociación mineralógica	Elementos	Tipo de yacimiento
7....	«Cuatro Amigos», Castaño Viejo, San Juan	Galena, blenda, pirita, calcopirita, cuarzo	Pb, Zn, Cu	Mesotermal
8....	Castaño Viejo (Veta Compañía), San Juan	Galena, blenda, pirita, calcopirita, cuarzo	Pb, Zn, Cu	Mesotermal
9....	Gualilán, San Juan	Pirita, blenda, hedenbergita, cuarzo	Au, Zn	Hipotermal (reemplazo)-mesotermal
10....	«Cristal Blenda», San Juan	Blenda, cuarzo	Zn	Mesotermal
11....	Veta Blanca, Marayes, San Juan	Blenda, pirita, arsenopirita, cuarzo	Zn	Mesotermal
12....	«Eufemia», Córdoba	Galena, blenda, pirita, calcopirita, cuarzo	Pb, Zn, Ag	Mesotermal
13....	«Los Cóndores», San Luis	Wolframita, scheelita, pirita, calcopirita, blenda, cuarzo, museovita	W, Cu	Hipotermal
14....	Paramillos de Uspallata, Mendoza	Tetraedrita, blenda, galena, pirita, calcopirita, en siderita y cuarzo	Ag, Pb, Zn	Mesotermal-Epitermal
15....	Las Picazas, Mendoza	Galena, blenda, pirita, calcopirita, arsenopirita, cuarzo	Pb, Zn, Ag, As	Mesotermal
16....	«Victoria», Huayelón, Neuquén	Galena, blenda, calcita	Pb, Zn, Ag	Epitermal
17....	«Gonzalito», Río Negro	Galena, blenda, pirita, calcopirita	Pb, Zn	Mesotermal
18....	«Angela», Los Mantiales, Chubut	Galena, blenda, pirita, calcopirita, cuarzo	Pb, Zn, Cu, Au, Ag	Mesotermal
19....	Lago Fontana, Chubut	Galena, blenda, pirita, calcopirita, cuarzo	Pb, Zn	Epitermal

CUADRO II

Densidad de las muestras estudiadas

Muestra N°	Densidad	Muestra N°	Densidad
1.....	3,982	11.....	4,004
3.....	3,957	12.....	4,018
4.....	4,010	16.....	4,040
6.....	4,040	17.....	4,020
7.....	3,992	19.....	4,010
10.....	3,946		

yas pardo - amarillentas y fundamentalmente las procedentes de "La Peregrina", "Gonzalito", "Angela", "Pumahuasi" y Aguilar (3) ostentan tonos pardo-amarillentos (ambarinos) y sus rayas suelen ser blanco amarillentas.

Densidad. Mediante el método del picnómetro y utilizando tolueno, se estableció la densidad de las muestras que no presentaban desmezclas o que las contenían en muy pequeñas proporciones. A tal efecto se seleccionaron 12 muestras que reunían tales condiciones.

Los valores obtenidos (promedios de cuatro determinaciones) oscilan entre 3,946 y 4,04. Dicha variación, como se verá más adelante, está relacionada con el contenido en hierro de cada muestra.

CUADRO III

Valores de microdurezas de blendas

Muestras	DV . 50 g	DV . 100 g	Muestras	DV . 50 g	DV . 100 g
1.....	259	241	11.....	258	216
2.....	270	246	12.....	286	244
3.....	254	238	13.....	276	226
4.....	248	216	14.....	248	234
5.....	253	213	15.....	266	213
6.....	215	197	16.....	242	206
7.....	248	234	17.....	228	198
8.....	255	229	18.....	246	206
9.....	264	214	19.....	253	223
10.....	266	222			

Microdureza. En su determinación se utilizó el microesclerómetro Durimet Leitz con diamante Vickers perteneciente al actual Servicio Nacional Minero-Geológico. Se emplearon en el estudio, cargas de 50 y 100 g, practicándose dos determinaciones en cada caso y en diferentes direcciones.

Los valores promedios obtenidos, que se indican en el cuadro III serán interpretados más adelante con relación a los respectivos contenidos en hierro de cada muestra.

3. OBSERVACIONES CALCÓGRAFICAS

Las blendas por lo general se presentan en forma de granos redondeados hasta poligonales. El tamaño de los individuos varía, en un mismo yacimiento, entre 1 mm y décimas de micrón.

Las maclas son muy comunes y las tablillas polisintéticas se desarrollan con frecuencia en distintas direcciones. En general, son visibles por corrosión, pero en el caso de la blenda clara de Aguilar, se han observado maclas a simple vista.

Como ya se señaló, la blenda presenta frecuentemente desmezclas de variados minerales, en tamaños que oscilan desde submicroscópicos hasta pocos micrones. De las observaciones efectuadas en las 19 muestras consideradas, surgió que las blendas de Marayes, Castaño Viejo, "Angela" y "Peregrina" poseen sólo desmezclas de calcopirita. La blenda oscura de Aguilar (microfotografía 1) presenta desmezclas de pirrotina (excepcionalmente grandes, de 20 a 100 micrones), en tanto que las de Gualilán (microfotografía 2), "Cristal Blenda", "Los Cóndores" y Las Picazas acusan desmezclas de calcopirita y, en menor proporción, de pirrotina. La muestra de "4 Amigos" posee estannita y la de Capillitas, tetrahedrita.

La participación de estas especies como desmezclas es en algunos casos menor que 1 %, oscilando en otros entre 1 y 5 % para llegar en Las Picazas a

más de 10 %, como se puede apreciar en el cuadro IV. La distribución de estas desmezclas puede ser regular o irregular dentro de la masa de la blenda, ordenándose en el primer caso según direcciones cristalográficas.

En las blendas de "Pumahuasi", Aguilar (variedad clara), "Victoria", Lago Fontana y Paramillos de Uspallata no se observaron desmezclas, siendo éstas muy escasas en las de "Eufemia", "Gonzalito", "Cristal Blenda" y Alto de La Blenda.

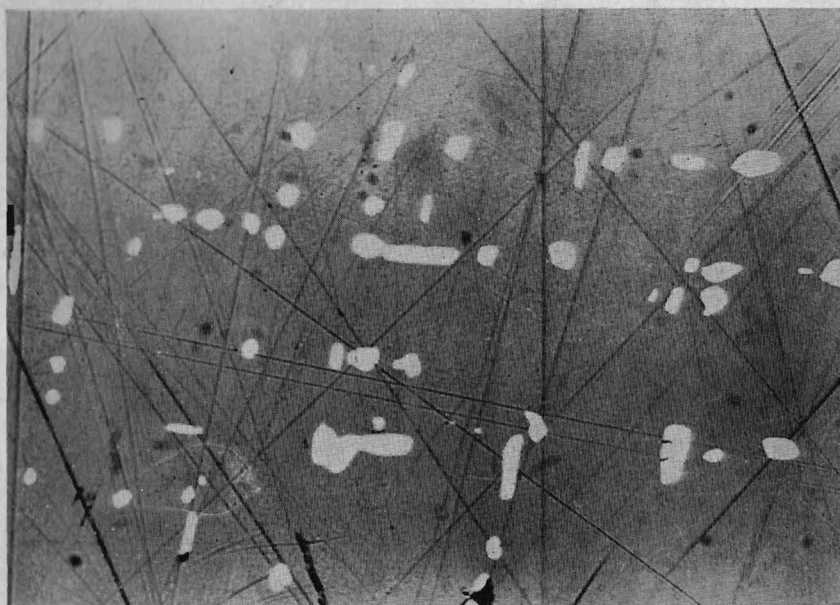
Cabe mencionar que en el mineral de Las Picazas la blenda se presenta también como desmezcla en forma de estrellas en la calcopirita, la que fue selectivamente reemplazada por pirita (microfotografía 3).

En el estudio microscópico de las muestras se ha comprobado la existencia de inclusiones líquidas y gaseosas en la muestra procedentes de Alto de La Blenda (microfotografía 4); inclusiones líquidas en la de "Gonzalito". Probablemente la variedad clara de Aguilar contenga inclusiones sólidas.

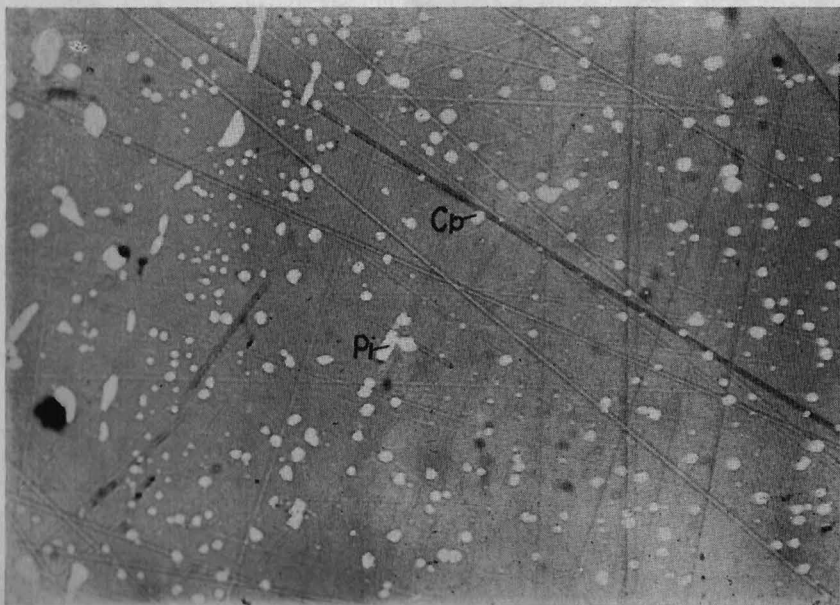
4. COMPOSICIÓN DE LAS BLENAS

4.1. Análisis espectrográfico. Con la finalidad de orientar la aplicación de otros métodos analíticos, se investigaron un total de 27 elementos en cada muestra empleando una técnica semicuantitativa (Spex. Industries Inc., 1962). Se utilizó el espectrógrafo Jarrel Ash (red: 15.000 líneas por pulgada, dispersión aproximada 5 Å mm. ranura 20 μ) de la División Estudios Especiales de la Gerencia de Materias Primas de la CNEA.

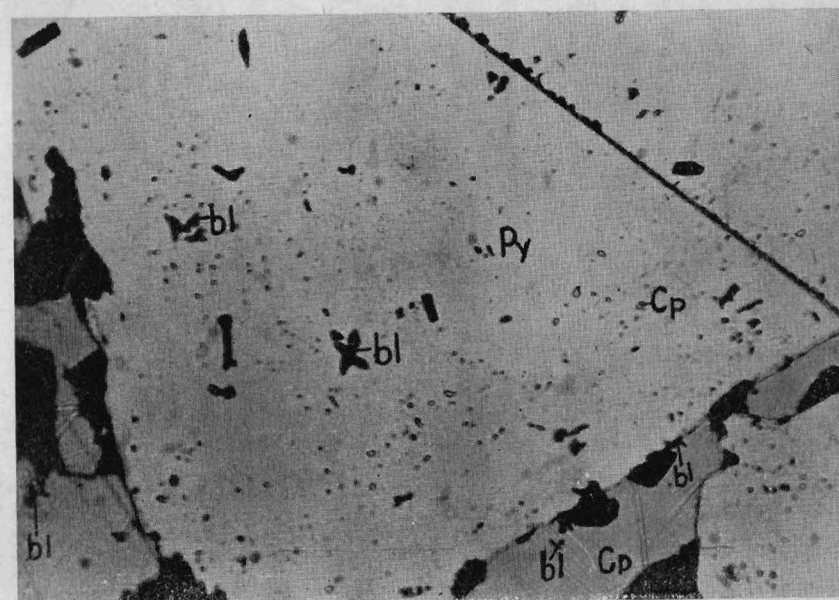
De los datos de interés registrados, excluyendo los elementos determinados por otros métodos, se mencionan: Hg, Sb, Bi, Sn, Ag, Cu, Pb y Ge, no detectables en algunos casos y presentes en otros en proporciones expresadas en decenas y centenas de ppm, con valores extremos altos para Cu y Pb de 0,1 - 0,3 y hasta 1 %.



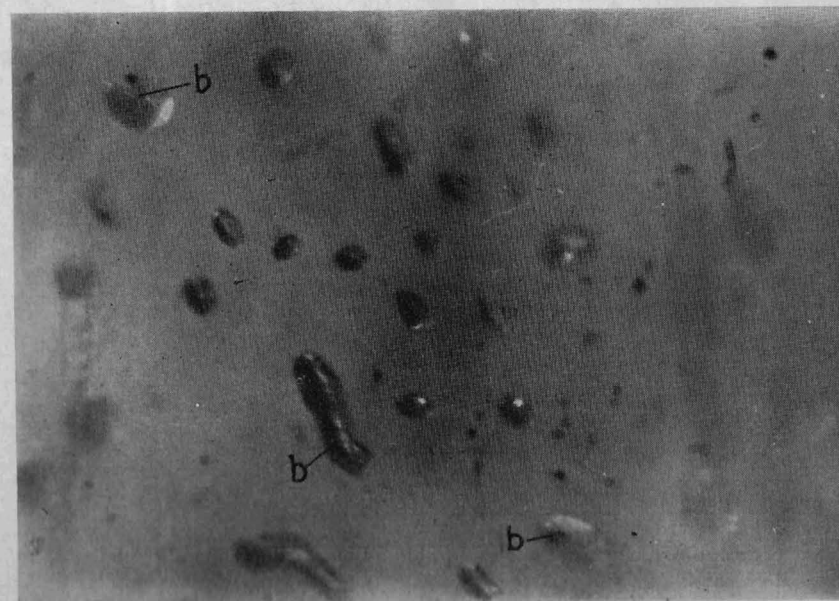
Microfotografía 1. — Sección pulida. X150. Inmersión en aceite. Desmezclas grandes de pirrotinas orientadas dentro de la blenda oscura de Aguilar



Microfotografía 2. — Sección pulida. X150. Inmersión en aceite. Desmezclas de calcopirita y pirrotina irregularmente distribuidas dentro de la blenda de Gualilán



Microfotografía 3. — Sección pulida. X150. Inmersión en aceite. Desmezclas de blenda (bl) en forma de estrella, originariamente dentro de la calcopirita, la que fué reemplazada selectivamente por pirita, Muestra perteneciente a Las Picazas.



Microfotografía 4. — Sección pulida. X150. Inmersión en aceite. Inclusiones líquidas y gaseosas (b = burbuja) en la esferulita de Alto de la Blenda

CUADRO IV

Características de las blendas investigadas

Muestra	Reflejos internos color, intensidad	Desmezclas minerales, cp, pi, st	Minerales asociados; inclusiones y acompañantes
1. Pumahuasi	pardo-rojizos y blan- quecinos 3	sin	gal, tetra, cp
2. Aguilar (oscura). 1	rojizos	5 % pi (20-100 μ) distribu- ción irregular	gal, pi, ma, py
3. Aguilar (clara) .. 3	pardo-amarillentas	sin	gal, tetra, ss, pr, ma
4. Alto de la blenda 3	pardo-amarillentas	cp, muy escasas	cp, py, gal, tetra, cv (inclusiones líquidas y gaseosas)
5. Capillitas	rojizo-amarillentos 2	< 1 % tetra	cp, cc, py, tetra, gal, en, ss, cv
6. « La Peregrina ». 2	amarillentas, blan- quecinas	< 1 % cp (< 5 μ) y submier. distr. irreg.	gal, ss, tetra, cp, ra, ni, ag
7. « 4 Amigos » 2	pardos y amarillen- tos	1-5 % cp y escaso st, distr. reg, e irreg.	py, gal
8. Castaño Viejo ... 2	pardos e incoloros	1-3 % cp (> 5 μ) distr. reg. e irreg.	cp, py, tetra
9. Gualilán	rojizos 1	5 % cp, pi variados tama- ños, distr. reg. e irreg.	py, pi, gal, cp, hem

1. Reflejos internos visibles únicamente en clivajes o líneas de debilidad.

2. Reflejos internos visibles medianamente abundantes.

3. Reflejos internos visibles en toda la superficie de la blenda, a nicoles cruzados.

cp, calcopirita; pi, pirrotina; st, estannita; gal, galena; tetra, tetraedrita s. l. (sin dife-
renciar tennantita); p, pirita; hem, hematita; ss, sulfosales de Pb, Cu, Bi; ma, marcasita;
pr, pirargirita; as, arsenopirita; ra, rammelsbergita; ni, niquelina; en, enargita; cc,
calcosina; cv, covellina; au, oro; ag, plata.

CUADRO IV (Cont.)

Muestra	Reflejos internos color, intensidad	Desmezclas minerales, cp, pi, st	Minerales asociados; inclusiones y acompañantes
10. « Cristal Blenda » 1	rojizos	muy escasas, cp, pi	gal, py, pi, cp, as
11. Veta Blanca Ma- rayes	1 pardo-rojizos	1-3 % cp (> 5 μ) hasta sub- mier., distr. irreg.	cp, tetra, gal, py, hem
12. « Eufemia »	1 pardo-rojizos	cp, muy escasas	cp, gal, py, tetra
13. « Los Cóndores ». 1	rojizos	< 1 % cp, escasas pi	pi, py, cp, ma
14. Paramillos de Us- pallata	2 rojizos, amarillentos	sin	gal, tetra, pr, py, cp, ma
15. Las Picazas	1 rojo-amarillentos	> 10 % cp, algo de pi	gal, pi, cp, py, ma, ss, as
16. « Victoria »-Hua- yelón	2 rojizos y amarillen- tos	sin	gal
17. « Gonzalito »	2 pardo-amarillentas	cp, escasas, distr. irreg.	py, cp, gal (inclusio- nes líquidas)
18. « Angela »	2 pardo-amarillentas e incoloras	1-2 % cp (> 5 μ), distr. irreg.	gal, cp, py, ss, au
19. Lago Fontana ... 2	pardo-rojizas	sin	gal, py, cp

4.2. *Análisis por activación neutrónica.* Indio, Galio y Cobalto fueron de-
terminados mediante la técnica de aná-
lisis por activación neutrónica y espec-
trometría gamma. Las irradiaciones se
efectuaron en el reactor atómico RA-3

(CNEA) a un flujo aproximado de 10^{13}
n/cm².seg.¹

¹ Más detalles experimentales sobre la técnica
empleada se describe en el trabajo a publicar
(Cohen y Rudelli, 1973).

4.3. *Análisis químico.* Los análisis cuantitativos de Zn, Cd, Fe, Mn y S se lograron mediante la aplicación de las siguientes técnicas: complexometría de Pribil (1954) para el Zn y Cd; Schwarzenbach y Willi (1951) para el Fe, espectrofotometría Nydal (1949) para el Mn y Williard y Furman (1947) para el S, previa oxidación de la muestra.

En el cuadro V se indican los valores registrados correspondientes a las blendas investigadas y en el VI, la composición estequiométrica resultante de los mismos.

CUADRO V

Composición química de las blendas, en %

Muestra	Fe	Mn	Cd	Zn	S	Total
1.....	3,91	0,11	0,24	62,6	33,1	99,96
2.....	9,15	1,13	0,21	56,0	33,5	100,02
3.....	7,05	0,57	0,17	58,9	33,3	99,99
4.....	3,53	0,52	0,27	62,6	33,1	100,02
5.....	4,44	0,04	n. d.	62,4 ¹	33,2	100,08
6.....	0,64	0,09	0,61	65,8	32,9	100,04
7.....	2,45	0,06	0,38	64,1	33,0	99,99
8.....	1,72	0,09	0,32	64,9	33,0	100,03
9.....	9,04	0,68	0,19	56,7	33,4	100,01
10.....	5,33	0,04	0,15	61,3	33,2	100,02
11.....	3,77	0,38	0,37	62,4	33,1	100,02
12.....	0,91	0,01	0,38	65,8	32,9	100,00
13.....	8,51	0,4	0,25	57,4	33,4	99,96
14.....	7,79	0,35	0,21	58,3	33,4	100,05
15.....	7,75	0,29	0,42	58,2	33,3	99,96
16.....	1,12	0,08	0,47	65,4	32,9	99,97
17.....	0,44	0,23	0,08	66,3	32,9	99,95
18.....	2,59	0,09	0,44	63,9	33,0	100,02
19.....	2,66	0,1	0,42	63,8	33,0	99,98
20 ²	—	—	—	67,09	32,91	100,00

¹ Incluye cadmio.² Composición teórica ZnS.

5. MEDICIÓN DE LA CELDA UNITARIA

Los valores determinados han sido obtenidos por difracción de rayos X, recurriéndose al método Debye-Scherrer.

Para corregir los errores experimentales introducidos por la aplicación de esta técnica fotográfica, se utilizó como patrón interno de referencia el parámetro a_0 de la celda unitaria del cloruro de sodio, a cuyo efecto las muestras fueron mezcladas y homogeneizadas con un 20 % de NaCl crist. p.a.

CUADRO VI

Composición estequiométrica de las blendas consideradas

1. « Pumahuasi »	(Zn _{0,928} , Fe _{0,068} , Mn _{0,002} , Cd _{0,002}) S
2. Aguilar (oscura)	(Zn _{0,821} , Fe _{0,157} , Mn _{0,020} , Cd _{0,002}) S
3. Aguilar (clara)	(Zn _{0,867} , Fe _{0,121} , Mn _{0,010} , Cd _{0,002}) S
4. Alto de la Blenda	(Zn _{0,928} , Fe _{0,061} , Mn _{0,008} , Cd _{0,002}) S
5. Capillitas	(Zn, Cd) _{0,922} , Fe _{0,077} , Mn _{0,001}) S
6. « La Peregrina »	(Zn _{0,982} , Fe _{0,011} , Mn _{0,002} , Cd _{0,005}) S
7. « 4 Amigos »	(Zn _{0,953} , Fe _{0,043} , Mn _{0,001} , Cd _{0,003}) S
8. Castaño Viejo	(Zn _{0,950} , Fe _{0,045} , Mn _{0,002} , Cd _{0,003}) S
9. Gualilán	(Zn _{0,831} , Fe _{0,155} , Mn _{0,012} , Cd _{0,002}) S
10. « Cristal Blenda »	(Zn _{0,906} , Fe _{0,092} , Mn _{0,001} , Cd _{0,001}) S
11. Marayes	(Zn _{0,924} , Fe _{0,066} , Mn _{0,007} , Cd _{0,003}) S
12. « Eufemia »	(Zn _{0,981} , Fe _{0,016} , Mn _{0,000} , Cd _{0,003}) S
13. « Los Cóndores »	(Zn _{0,845} , Fe _{0,146} , Mn _{0,007} , Cd _{0,002}) S
14. Paramillos de Uspallata	(Zn _{0,857} , Fe _{0,134} , Mn _{0,007} , Cd _{0,002}) S
15. Las Picazas	(Zn _{0,857} , Fe _{0,134} , Mn _{0,005} , Cd _{0,004}) S
16. « Victoria », Huayelón	(Zn _{0,975} , Fe _{0,020} , Mn _{0,001} , Cd _{0,004}) S
17. « Gonzalito »	(Zn _{0,987} , Fe _{0,008} , Mn _{0,004} , Cd _{0,001}) S
18. « Angela »	(Zn _{0,949} , Fe _{0,045} , Mn _{0,002} , Cd _{0,004}) S
19. Lago Fontana	(Zn _{0,947} , Fe _{0,047} , Mn _{0,002} , Cd _{0,004}) S

CUADRO VII

Valores de celdas unitarias de blendas

Muestra	a_0	Muestra	a_0
1.....	5,4121 Å	10.....	5,4155 Å
2.....	5,4211 »	11.....	5,4167 »
3.....	5,4178 »	12.....	5,4126 »
4.....	5,4186 »	13.....	5,4225 »
5.....	5,4140 »	14.....	5,4142 »
6.....	5,4102 »	15.....	5,4198 »
7.....	5,4151 »	16.....	5,4133 »
8.....	5,4149 »	17.....	5,4105 »
9.....	5,4194 »	18.....	5,4133 »

radiación α de Cu (40 Kw $\times$ 20 mA), filtro de Ni y cámara de 114,6 mm de diámetro.

A partir del valor de dos medidas en los espaciados reticulares correspondientes a los planos cristalográficos (400), (111), (220), (331) y (422) se calcularon los respectivos valores de a_0 de las distintas blendas que se consignan en el cuadro VII.

6. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los valores registrados en la determinación de las propiedades físicas de las blendas, a saber: color y raya; densidad; microdureza; reflectividad; celda elemental y desmezclas, por una parte, y la composición química en cuanto a sus elementos menores (Fe, Mn y Cd) y de algunos trazas (In, Co, Ga,

Las determinaciones se efectuaron utilizando un equipo Philips y las condiciones analíticas empleadas fueron:

CUADRO VIII

Valor a_0 en relación con el contenido en (FeS+MnS+CdS) en la blenda

Muestra	a_0 (1)	a_0 (2)	Contenido en (FeS+MnS+CdS) %
12.....	5.4104	5.4126	1,92
16.....	5.4107	5.4133	2,49
8.....	5.4119	5.4149	3,25
14.....	5.4129	5.4142	4,87
1.....	5.4131	5.4141	6,62
5.....	5.4127	5.4140	7,62
10.....	5.4137	5.4155	8,62
3.....	5.4186	5.4178	12,19
15.....	5.4179	5.4198	13,17
2.....	5.4235	5.4211	15,47

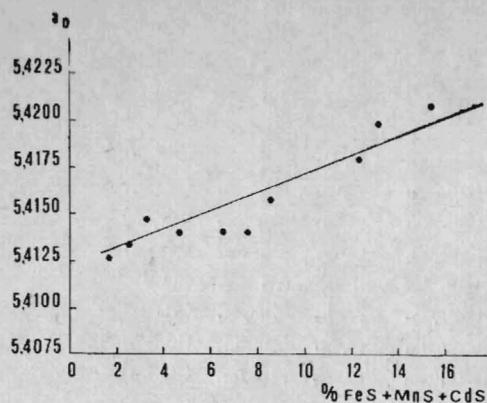


Gráfico 1. — Relación a_0 contenido FeS + MnS + CdS

Ge) por la otra, nos permiten evaluar las siguientes relaciones¹.

6.1. *Tamaño de la celda en relación con su contenido en Fe, Mn y Cd.* Las mediciones de a_0 demuestran, si bien no de manera absoluta, una tendencia a un ligero incremento acorde, esencialmente, con un mayor contenido en Fe. Véase el cuadro VIII, donde las muestras se han ordenado conforme al porcentaje creciente de la suma de FeS, MnS y CdS (gráfico 1).

En dicho cuadro se señala, además, el valor de a_0 calculado de acuerdo a la fórmula propuesta por Skinner (1961). Por lo general, las determinaciones a_0 efectuadas mediante difracción de rayos X registran, en nuestro caso, valores algo superiores a los calculados.

6.2. *Relación microdureza con el contenido en Fe, Mn y Cd.* En el gráfico 2 se han volcado los valores registrados en DV_{100g} con relación al contenido en Fe. Se comprueba un incremen-

¹ Sobre el particular, se deja constancia que en la investigación de las blendas elegidas, se lamenta no estar en condiciones de aportar información respecto de sus contenidos en talio, ya que todos los esfuerzos realizados sobre el particular resultaron infructuosos. En lo que se refiere al germanio, sólo nos fue posible la obtención de datos espectrográficos semicuantitativos.

(1) Parámetro calculado en base a la fórmula de Skinner.

(2) Determinado por difracción de rayos X.

to de la microdureza de las blendas acorde con los tenores en el citado elemento.

6.3. *Relación densidad con el contenido en Fe.* El gráfico 3 muestra una sensible disminución de la densidad de las blendas a un mayor porcentaje en Fe, lo que concuerda con el mayor volumen de sus celdas por un incremento de a_0 .

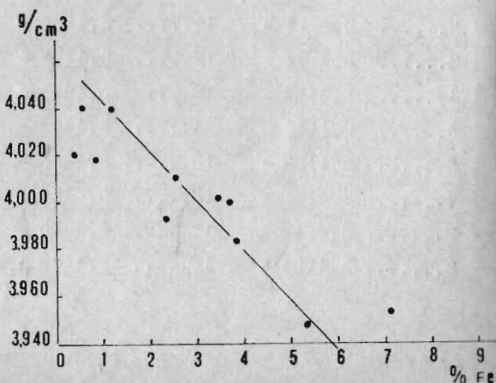


Gráfico 2. — Relación densidad-contenido en Fe

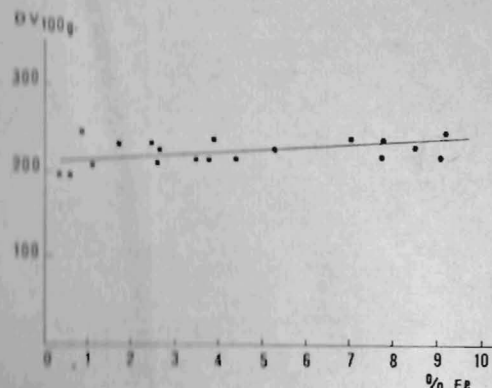


Gráfico 3. — Relación microdureza (DV_{100g}) contenido en Fe

6.4. *Reflectividad en relación con su contenido en Fe.* Sobre el particular se llevaron a cabo diversas observaciones de blendas de distinto contenido en Fe, entre otras, Aguilar, "Los Cóndores", Las Picazas y "La Peregrina", utilizando el fotómetro Leitz de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de Buenos Aires.

Sin llegar a una determinación de valores, se observó un mayor grado de reflectividad en las blendas que acusan tenores más elevados en hierro (Grafenauer *et al.*, 1969).

6.5. *Isotropía - Anisotropía.* En las observaciones de astillas delgadas al microscopio de luz transmitida, se ha determinado que algunas de las blendas como ser "La Peregrina", "4 Amigos", "Gonzalito", Marayes y "Eufemia", presentan anisotropía. Este hecho verificaría lo manifestado por Smith (1955), en el sentido de que las blendas presentan cierto grado de anisotropía como consecuencia de que en su estructura intervienen empaquetamientos cúbico y hexagonal.

6.6. *Posición geoquímica de los elementos.* Respecto del contenido de las blendas en elementos minoritarios o trazas (Co, Ga, In, Ge, Tl) no existe una información concluyente sobre el particular, aunque sí algunas definiciones de

carácter general, como evaluación de resultados analíticos obtenidos de las distintas investigaciones efectuadas en relación con las condiciones de deposición de las blendas. Así Fleischer (1955), que como se dijo, resumió una muy amplia información, manifiesta lo siguiente: Co, está presente casi siempre en las esfaleritas, aunque puede estarlo también en la calcopirita. Según Oftedal (1939) y Gabrielson (1945) mencionados por Fleischer, la blenda de alta temperatura, pirometasomática, acusa por lo general más cobalto que aquellas de otro tipo de yacimiento; Ga, se opina que, por lo común, su tenor es más elevado en las blendas de baja temperatura que en las de carácter meso a hipotermal; In, sobre este elemento existiría un consenso general en que tiende a concentrarse en las esfaleritas de temperatura intermedia a alta; Ge, se registraría un mayor tenor de dicho metal en las especies de baja temperatura, y en lo concerniente a Tl, notables concentraciones se manifiestan en las "Schalenblende".

En cuanto al contenido en Fe, Mn y Cd, cabe señalar una mayor proporción en Fe e incluso en Mn, en las blendas de temperatura intermedia y alta que en las de baja, en tanto que el tenor en cadmio parecería ser independiente de las condiciones de formación de dicho sulfuro.

Mc Intire (1963), sostiene que la introducción de los elementos citados en la estructura de las esfaleritas dependería más bien de las condiciones de presión y temperatura imperantes en la deposición del sulfuro de zinc, que de su grado de concentración en las soluciones mineralizantes.

Teniendo en consideración los valores analíticos registrados por vía química en Fe, Mn y Cd, como así también los determinados por activación neutrónica (Co, Ga, In) y espectrográficos, expuestos todos ellos en el cuadro IX, se llegaría en cuanto a las condiciones de deposición del conjunto de esfaleritas investigadas, a lo siguiente:

CUADRO IX

	Fe %	Mn %	Cd %	Ga (1)	In (1)	Co (1)	Ge (2)
--	------	------	------	--------	--------	--------	--------

I. Blendas consideradas de baja temperatura :

1. « Pumahuasi »...	3,91	0,11	0,24	18,5	0,6	91,4	660-2000
5. Capillitas	4,44	0,04	n. d.	139,0	135,8	0,7	<200
6. « La Peregrina ».	0,64	0,09	0,61	14,3	5,6	24,2	20 70
16. « Victoria »- Hua- yelón	1,12	0,08	0,47	368,0	0,8	144,3	70-200
17. « Gonzalito »	0,44	0,23	0,08	1,5	0,15	2,5	7-20
19. Lago Fontana ...	2,66	0,10	0,42	8,0	4,3	25,0	70-200

II. Blendas consideradas de temperatura intermedia :

4. Alto de la Blenda	3,53	0,52	0,27	1,6	0,4	2,3	<7
7. « 4 Amigos »	2,45	0,06	0,38	30,0	0,4	10,0	<70
8. Castaño Viejo ...	1,72	0,09	0,32	1,7	16,5	25,7	<7
10. « Cristal Blenda »	5,33	0,04	0,15	18,6	21,8	4,7	~20
11. Veta Blanca- Ma- yres	3,77	0,38	0,37	12,6	5,7	4,2	<7
12. « Eufemia »	0,91	0,01	0,38	11,4	224,0	6,8	<7
14. Paramillos de Us- pallata	7,79	0,35	0,21	25,5	11,6	21,0	<70
15. Las Picazas	7,75	0,29	0,42	5,6	169,8	2,3	<7
18. « Angela »	2,59	0,09	0,44	49,7	183,0	1,0	<7

III. Blendas consideradas de alta temperatura :

2. Aguilar (oscura)..	9,15	1,13	0,21	12,4	2,7	43,5	~20
3. Aguilar (clara)...	7,05	0,57	0,17	1,6	0,14	26,4	<70
9. Gualilán	9,04	0,68	0,19	2,9	5,4	1,1	~20
13. « Los Cóndores ».	8,51	0,40	0,25	9,8	37,0	16,8	<7

(1) En ppm (activación neutrónica).

(2) En ppm (espectrometría semicuantitativa).

Mayor contenido en Fe en las blendas particularmente de alta temperatura. Registros de 3,77, 5,33 y 7,75 % en las esferulitas de temperatura intermedia de Marayes (Veta Blanca), "Cristal Blenda" y Las Picazas, y de 8,51, 9,04 y 9,15 % para las de alta temperatura de

"Los Cóndores", Gualilán y Aguilar (oscura) respectivamente. La ley en Mn guarda cierta relación con la de Fe, acusando los valores más altos en las blendas de alta temperatura, con un máximo de 1,13 % para la variedad oscura de Aguilar.

En cuanto al Cd, su contenido es más bajo en las esfaleritas de alta temperatura. Sus cifras máximas de 0,61 y 0,47 por ciento corresponden a "La Peregrina", "Victoria" (Huayelón), respectivamente.

El registro en Co es fluctuante; los contenidos ppm máximos pertenecen a las blendas de "Pumahuasi" y "Victoria" (Huayelón) con 91,4 y 144,3 y los de Aguilar (43,6 y 26,4 ppm).

Los valores establecidos para el galio son bajos en las esfaleritas de alta temperatura comparadas con las pertenecientes a las de temperaturas intermedias a bajas, con un máximo de 368 y 139 ppm para la blenda de "Victoria" (Huayelón) y de Capillitas.

El In alcanza valores tope de 169,8; 183 y 224 ppm en las blendas de Las Picazas, "Angela" y "Eufemia", respectivamente, todas ellas pertenecientes a yacimientos mesotermiales.

En lo concerniente al germanio, las evaluaciones espectrográficas semicuantitativas revelan un contenido más elevado, con un máximo de 660-2000 ppm, en las blendas de baja temperatura que en las correspondientes a yacimientos meso e hipotermiales.

CONCLUSIONES

La realización del presente estudio nos ha permitido definir las características físicas y composición de las blendas de 18 yacimientos argentinos, de muy distintas condiciones de formación. Los resultados obtenidos concuerdan en lo que se refiere a sus propiedades físicas con los registrados en otras investigaciones similares. En lo concerniente a los elementos acompañantes del zinc, su contenido particularmente en Fe y Mn, guarda relación con las condiciones de temperatura. Para los otros elementos a saber: Co, Ga, In y Ge se perfila una cierta tendencia en cuanto al rango de temperatura, que futuros estudios sobre el particular deberían precisar, en cuyo caso se reco-

mienda, para una mejor interpretación, tener presente las blendas de las distintas generaciones que pudieran participar en cada yacimiento y asimismo centrar la investigación a determinados distritos o provincias metalogenéticas.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Angelelli, V., Fernández Lima, J. C., Herrera, A. y Aristarain, L. 1970. *Descripción del mapa metalogenético de la República Argentina. Minerales metalíferos*. Dir. Nac. Geol. y Min. An. XV. Bs. As.
- Barton, P. B. and Toulmin, P., 1966. *Phase relations involving sphalerite in the system Fe-Zn-S*. Econ. Geol. V. 61, pp. 815-849.
- Cohen, I. N. y Rudelli, N. D., 1973. *Análisis por activación neutrónica de elementos menores y vestigios en blenda*, (a publicar). C.N.E.A.
- Deer, W., Howie, R. and Zussman, D., 1962. *Rock forming minerals*. Longmans, pp. 166-179.
- Fleischer, M., 1955. *Minor elements in some sulfides*. Minerals. Econ. Geol. Fiftieth Anniversary Volumen. 1905-1955.
- Grafenauer, S., Gorenc, B., Marinkovic and Srmole, D., 1969. *Physical properties and chemical compositions of sphalerites from Yugoslavia*. Min. Dep., 4, pp. 275-282.
- Mc. Intire, W. L., 1963. *Trace element partition coefficients, a review of the ore and applications to geology*. Geochim. et Cosmochim. not. 27.
- Nydahl, F., 1949. *The determination of manganese by the peroxidisulphate method*. Analytica Chim. Acta 3, 144-157.
- Přibil, R., 1954. *Komplexometrie*, Chemapol, Prague.
- Scott, S. and Barnes, H., 1971. *Sphalerite geothermometry and geobarometry*. Econ. Geol., V. 66, N° 4.
- Schwarzenbach, G. and Willi, A., 1951. *Metal ion indicators. III. Complex formation of pyrocatechol-3,5-disulfonic acid (Tiron) with the iron (III)-ion*. Helv. Chim. Acta 34, 528-539. (C. A. 45, 5060 a).
- Skinner, B. J., 1961. *Unit cell edges of natural and synthetic sphalerites*. Am. Min. 46, pp. 1399-1411.
- Smith, F. G., 1955. *Structure of zinc minerals*. Am. Min., V. 40, pp. 658-675.
- Spex Industries, Inc., 1962. *Spex Methods for Semi-Quantitative Spectrochemical Analysis*. The Spex speaker 7 (4), 1-7.
- Willard, H. H. and Furman, N. H., 1947. *Elementary Quantitative Analysis*. D. van Nostrand, New York.

Recibido el 29 de mayo de 1973.