

Ifr. 337

México. UNAM. Instituto de
Geología. Boletín.
Nº 66-67 1963.

If. 1375

SALIDA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA
DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

Boletín 66

REVISION CRITICA DE LOS MINERALES
MEXICANOS

1.- LA BOLEITA

(Morfología)

POR

FRANCISCO J. FABREGAT



MEXICO, D. F.

1963

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

RECTOR:

Dr. Ignacio Chávez

SECRETARIO GENERAL:

Dr. Roberto L. Mantilla Molina

COORDINADOR

DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA:

Dr. Ignacio González Guzmán

INSTITUTO DE GEOLOGIA

Ciudad Universitaria

México 20, D. F.

DIRECTOR:

Ing. Guillermo P. Salas

SECRETARIA:

Ma. Guadalupe Sáenz A

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

Boletín 66

REVISION CRITICA DE LOS MINERALES
MEXICANOS

1.- LA BOLEITA

(Morfología)

POR

FRANCISCO J. FABREGAT



MEXICO, D. F.

1963

Indice de Donnay	37
Cristales artificiales	38
Cristales complejos: maclas (gemelos)	38
Exfoliación	46
Propiedades ópticas	48
Indice de refracción	51
Birrefrgerancia de las anomalías ópticas	54
Diafanidad	54
Color	54
Brillo	54
Luminiscencia	55
Absorción	55
Densidad	56
Dureza	57
Comportamiento químico	58
Minerales análogos	58
Composición química: fórmulas	59
Diagrama espectrofotométrico por fluorescencia	67
Espectroscopia de emisión	67
Lauegrama. Clase de simetría	67
Dimensiones de la celda elemental	71
Contenido de la celda elemental	75
Forma cuadrática	76
Diagramas de polvo	82
Grupo de traslación	86
Diagramas de Weissenberg	86
Grupo espacial	91
Tabla de constantes	100
Bibliografía	103

TABLAS

	<i>Pág.</i>
Núm. 1 — Columna de espaciados "d"	78
„ 2 — Intensidades	83
„ 3 — Correspondencias	85

ILUSTRACIONES

	<i>Pág.</i>
Fic. 1. Cristales de boleíta, 12 x 9 cms.	15
2. Relaciones de familia entre las especies constituyentes del grupo de minerales de la boleíta	17
3. Mapa índice de parte de Baja California, México, mostrando la localización del Distrito cuprífero de El Boleo, y su relación con el Distrito manganesífero de Lucifer (Fig. de Wilson, 1957) 12 x 15 cm. ....Entre págs. 20-21	
4. Mapa planimétrico del Distrito cuprífero de El Boleo y alrededores, mostrando las principales formas geográficas (Fig. de Wilson, 1957) 32 x 20 cms. Entre págs. 20-21	
5. Agrupación de pirámides tetragonales de cumengeíta sobre las caras de un cubo de boleíta (Según Mallard y Cumenge, 1891)	25
6. Disposición esquemática de la materia de un cubo de boleíta. Interpretación de Mallard (Mallard y Cumenge, 1891) (Mallard, 1893)	26
7. Aspecto de un cristal sencillo de pseudoboleíta. Su núcleo cúbico es de boleíta (Mallard y Cumenge, 1891; Mallard, 1893)	28
8. Caras que pueden aparecer para formar los surcos de las aristas en la zona llamada de la pseudoboleíta. El núcleo cúbico central es de boleíta; las placas superpuestas son epicrecimientos de pseudoboleíta (Friedel, 1906)	29
9. Estereograma de la formas medidas en cristales de boleíta. Las áreas rayadas indican los ámbitos de dispersión de las mediciones obtenidas, dado el carácter de posición peculiar de sus caras	31
10. Estereograma deducido de las coordenadas esféricas azimutales citadas por Dana (1957), con la corrección de sus valores calculados y su numeración preferible.	32
11. Estereograma de la formas de boleíta citadas y observadas (Véase la tabla de sus respectivas coordenadas esféricas azimutales)	34
12. Gnomonograma de las formas de boleíta citadas y observadas. Corresponde a la tabla de coordenadas esféricas azimutales	36
13. Cristal complejo de boleíta y pseudoboleíta. Corte paralelo a (100). Interpretación según una microfotografía entre nicoles cruzados. El cubo de boleíta con su región central isotropa; los epicrecimientos periféricos son de pseudoboleíta (Friedel, 1906; Mallard y Cumenge, 1891; Mallard, 1893)	39
14. Caso cuando el depósito de cumengeíta llega a desbordar de los surcos de pseudoboleíta. Al seguir creciendo sus formas propias, pueden llegar a unirse y recubrir el núcleo extraño sobre el que se apoyan. Los cristales aparecen como totalmente de cumengeíta	39

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Sinopsis

BOLEITA

FORMULA:

$3 \text{PbCl}_2 \cdot 3 \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{AgCl} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$

CRISTALIZACION:

Cúbica, hemiedría enantiomórfica.

NOMBRE:

Sinonimia: Argentopercylita (Schulze, 1892).

Pseudoboleita, pr. pt. (Lacroix, 1895).

Etimología: Dto. Minero de El Boleo. Boleos: nódulos de carbonato y óxidos minerales (apelación minera regional).

Descubrimiento: Autor, E. Cumenge.

Fecha: 1891.

Lugar: Tiro Cumenge de la mina Amelia, en el Dto. Minero de El Boleo, Sta. Rosalía, M^o Mulegé, B.C.S.

Reseña histórica: Llevada por Cumenge a París, se dispersa por Europa Occ.-Friedel estudió su composición química y Gossner comenzó su röntgenología. Se llegó hasta determinar Z.

Primera referencia: E. Mallard y E. Cumenge. Sur une nouvelle espèce minérale, la Boléite.

Compt. Rend. Acad. Scien. París 113 (1891) 519-524.

PRESENCIA:

Cristales individualizados, de 2-6 mm, englobados en matriz arcillosa.

DESCRIPCION MACROSCOPICA:

Cristales cúbicos aislados. Caras brillantes, con posición no bien definida: se pensó en una asociación biáxica de varios individuos. Algunos cubos maclados. Color azul marino oscuro.

CRISTALIZACION:

Sist. ó Singonía: Cúbica.

Clase: Hemiedría enantiomórfica.

Grupo puntual: 0 — 43 — C_2 .

$$\alpha = 90^\circ ; \beta = 90^\circ ; \gamma = 90^\circ$$

$$\lambda = 90^\circ ; \mu = 90^\circ ; \nu = 90^\circ$$

GONIOMETRIA

Angulos interfaciales

Caras	001	100	010	011	111
001	0°00'	90°00'	90°00'	45°00'	54°44'
011	45°00'	90°00'	45°00'	0°00'	35°16'
111	54°44'	54°44'	54°44'	45°16'	0°00'
014	14°02'	90°00'	75°58'	30°58'	45°33'30''

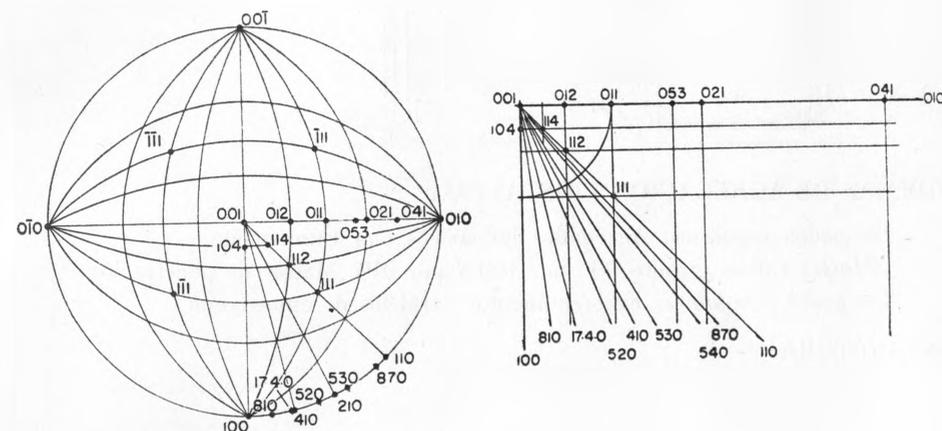
Caras observadas

	ρ	φ
001	0°00'	0°00'
010	90°00'	0°00'
100	90°00'	90°00'
111	54°44'	45°00'
$\bar{1}00$	90°00'	270°00'
$0\bar{1}0$	90°00'	180°00'
$\bar{1}\bar{1}1$	54°44'	315°00'
$\bar{1}1\bar{1}$	54°44'	135°00'
$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$	54°44'	225°00'

Caras citadas (bibliogr.)

	ρ	φ	
110	90°00'	45°00'	Dana (1957)
011	45°00'	0°00'	"
041	75°58'	0°00'	"
114	19°28'30''	45°00'	Friedel (1906)
104	14°02'	90°00'	"
053	59°02'	0°00'	Mallard y Cumenge (1891)
021	63°26'	0°00'	"
012	26°34'	0°00'	"
210	90°00'	63°26'	"
112	35°16'	45°00'	Gossner y Arm (1929)

410	90°00'	75°58'	Hadding (1919)
810	90°00'	82°52'30''	"
520	90°00'	68°12'	"
530	90°00'	59°02'	"
540	90°00'	51°20'	"
870	90°00'	48°49'	"
17.4.0	90°00'	76°45'	"



COORDENADAS ESFERICAS BIPOLARES

Polos:	0, a(100)	0', b(010)	c(001)	d(012)	e(011)	f(053)
0, a(100)	0°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'
0', b(010)	90°00'	0°00'	90°00'	63°26'	45°00'	30°58'
g(021)	h(041)	i(104)	j(114)	k(112)	l(111)	m(110)
90°00'	90°00'	75°58'	75°58'	65°54'30''	54°44'	45°00'
26°34'	14°02'	90°00'	75°58'	65°54'30''	54°44'	45°00'
n(210)	o(410)	p(810)	q(520)	r(530)	s(870)	t(17.4.0)
26°34'	14°02'	7°07'30''	21°48'	30°58'	41°11'	13°15'
63°26'	75°58'	82°52'30''	68°12'	59°02'	48°49'	76°45'

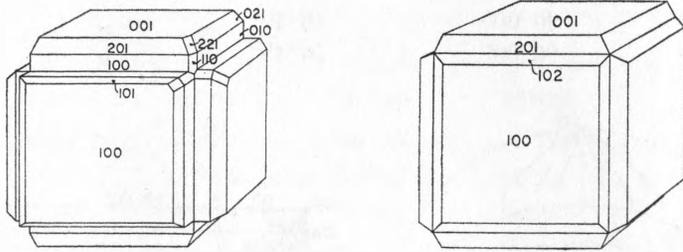
HABITO:

Cúbico, con caras de octaedro y de rombodecaedro.

TENDENCIA:

Cristales aislados.

ICONOGRAFIA DE LA ESPECIE:



FORMAS DE AGREGACION CRISTALINA:

Agregados regulares. Agregados holoáxicos con Cumengeíta.

Maclas Cubos girados 90° por 100 y por 010. Maclas de penetración.

Agregados irregulares Epicrecimientos paralelos de cumengeíta.

ESTRUCTURA:

Grupo espacial: $O' - P43 - C'_2$

Celda elemental:

$$a_0 = 15'186 \text{ \AA} \quad ; \quad a_0 = 15'154 \text{ kX} \quad ;$$

$$a_0 : b_0 : c_0 = 1 \quad ; \quad c_0 : a_0 = 1$$

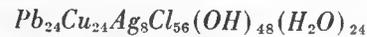
$$\alpha_0 = 90^\circ \quad ; \quad \beta_0 = 90^\circ \quad ; \quad \gamma_0 = 90^\circ$$

Celda recíproca para $\text{CuK}\alpha$: $a^* = 0'101442$

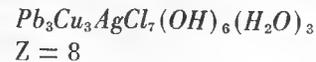
$$\alpha^* = 90^\circ \quad ; \quad \beta^* = 90^\circ \quad ; \quad \gamma^* = 90^\circ$$

Celda reducida de Delaunay: Cúb.; 15'186.

Contenido de la celda:



Complejo molecular:



$$Z = 8$$

PROPIEDADES:

Físicas (excepto ópticas):

Densidad:

Observada: 5'031

Calculada: 5'02283

Dureza: 3 — 3'5 (Werner)

Exfoliación aparente: (001) perfecta; (101) y (410) buena; (100) pobre.

Fractura: subconcoidea, fuera de las direcciones de exfol.

Tenacidad: friable

Fusibilidad: 1 (Von Kobell)

Ópticas:

Diafanidad

— en ejemplar macroscópico: opaco; traslúcido sólo en esquirlas

— en preparación microscópica: transparente

Color reflejado: azul celeste

Color no metálico: azul marino oscuro

Raya o polvo: azul verdoso claro

Brillo o lustre: vítreo, perlado en planos de exfoliación

Naturaleza: id.

Intensidad: débil

Absorción; $\mu = 90369.112 \text{ cms}^{-1}$

Luminiscencia

Fluorescencia: no

Fosforescencia: no

Índice de refracción

$$n = 2'0283 \pm 0'0012$$

Los cortes paralelos a las caras cúbicas presentan un núcleo isótropo (cruzado por radios anisótropos) rodeado por un reborde birrefringente: todo ello debido a las anomalías ópticas explicables por sustituciones isomorfas del *Pb* por la *Ag*.

 $(\gamma - \alpha) = \text{Birrefringencia de las anomalías ópticas: } 0'017$

Signo óptico: — (En las anomalías, negativo (—)).

Pleocroísmo: no

Químicas:

Fórmula: $3 \text{ PbCl}_2 \cdot 3 \text{ Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{AgCl} \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$ Solubilidad: Soluble en NO_3H

Análisis:	Fórm.	
Pb	49'51	Fórmula de Gossner y Arm (1929) cit.
CuO	17'71	
AgCl	11'51	
Cl	17'13	
H ₂ O	4'28	
	100'14	

Identificación:

Ensayes pirométricos

Tubo cerrado: enegrece por la fusión acuosa.

Identificación goniométrica

Índice de Donnay Cúb., 15'186

Análisis röntgenológico

—Por difracción: diagrama de polvo

Tarjetas de la ASTM (corregida)

No. tarj. 2-240	CuK α			
	3'795	2'685	4'380	5'065
	100	77	63	27

Otros diagramas publicados

Waldo (Am. Min. 20 (1935)584)

Cristal artificial estudiado

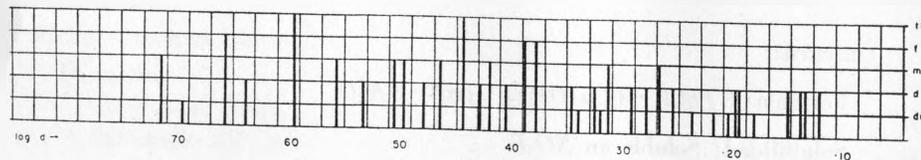
Diagrama de Debye: Cámara, 114'6; Radiación, CuK α $\lambda = 1'54178$ MoK α 

Tabla de intensidades

(khl)	Diagr. difracc. Reg. fotométric.		Diagr. Debye Reg. fotogr.		Tarjeta ASTM No. 2-240	
	d(calc.)*	I/I ₀	d(obs.)	I/I ₀	d(obs.)	I/I ₀
100	15'186	0'1	—	—	—	—
111	8'780	0'1	—	—	—	—
220	5'365	0'5	—	—	—	—
300, 221	5'065	27	5'080	m	5'10	40
310	4'805	6	4'855	dd	4'86	20
311	4'580	4	—	—	—	—
222	4'380	63	4'445	f	4'40	100
320	4'215	10	4'250	d	—	—
321	4'055	2	—	—	—	—
400	3'795	100	3'845	ff	3'83	100
410, 322	3'685	7	—	—	—	—
411, 330	3'580	6	—	—	—	—
331	3'490	33	3'520	m	3'50	80
420	3'400	7	3'340	d	3'34	20
421	3'312	4	—	—	—	—
422	3'100	28	3'130	m	3'13	100
500, 430	3'036	54	3'065	m	—	—
510, 431	2'980	6	—	—	—	—
511, 333	2'923	16	2'950	d	2'95	40
520, 432	2'820	20	2'850	m	2'83	100
521	2'773	1	—	—	—	—
440	2'685	77	2'715	ff	2'69	100
522, 441	2'644	7	—	—	—	—
530, 433	2'605	13	2'620	d	—	—
531	2'568	32	—	—	2'56	80
600, 442	2'531	62	2'560	m	—	—
611, 532	2'457	14	2'479	d	2'47	20
621, 540, 443	2'372	32	2'398	f	2'38	100
533	2'316	31	2'325	f	2'32	100
622	2'290	29	—	—	—	—
630, 542	2'264	6	—	—	—	—

Tabla de intensidades

(hkl)	Diagr. difracc. Reg. fotométric.		Diagr. Debye Reg. fotogr.		Tarjeta ASTM No. 2-240	
	d(calc.)*	I/I ₀	d(obs.)	I/I ₀	d(obs.)	I/I ₀
700, 632	2'170	10	—	—	—	—
710, 550, 543	2'148	11	2'161	d	2'15	20
711, 551	2'127	9	2'130	dd	2'12	20
640	2'106	15	—	—	—	—
721, 633, 552	2'067	12	2'085	d	2'07	20
642	2'029	7	2'041	dd	2'02	20
722, 544	2'011	11	—	—	—	—
731, 553	1'977	32	2'005	m	1'99	80
800	1'898	39	1'916	d	1'90	20
820, 644	1'842	22	1'860	d	1'85	60
822, 660	1'789	39	1'807	m	1'80	80
751, 555	1'754	13	1'758	d	1'75	60
752	1'720	1	—	—	—	—
910, 833	1'677	13	1'683	d	1'67	40
921, 761, 655	1'638	1	—	—	—	—
664	1'619	2	—	—	—	—
922, 850, 843, 762	1'610	2	1'618	dd	1'61	20
844	1'550	2	1'566	dd	—	—
941, 853, 770	1'534	11	1'540	d	—	—
933, 771, 755	1'526	13	1'530	d	1'53	40
950, 943	1'475	4	1'480	dd	1'48	20
871, 855, 774	1'424	6	1'416	d	1'42	20
10.4.2	1'387	3	—	—	—	—
11.1.0, 954, 873	1'375	1	—	—	—	—
11.1.1, 775	1'370	4	—	—	—	—
12.2.1, 10.5.0, 963	1'353	8	1'355	d	1'35	20
11.3.0, 970	1'332	4	1'339	d	—	—
964	1'317	3	—	—	1'32	—
11.4.0, 10.6.1, 883	1'298	10	1'305	d	1'29	—
11.5.1, 777	1'253	1	—	d	—	—
12.2.1, 10.7.0, 982, 876	1'244	1	—	—	—	—

Curva fotométrica.

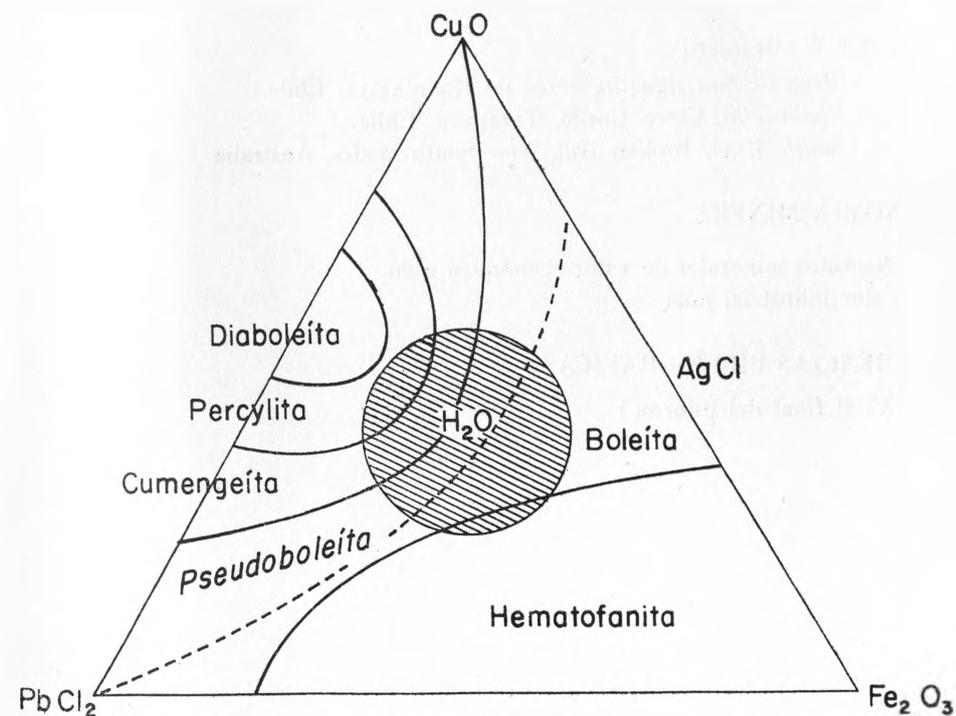
Forma cuadrática $Q(hkl) = 0'00433625 (h^2 + k^2 + l^2)$ — Por fluorescencia: *Pb, Cu, Ag, (W)*.

Gráfica

Síntesis de los cristales: Soluc. de $CuCl_2$ sobre $(Ag_2O + Pb(OH)_2)$ ppdos., en medio de arcilla dispersa en agua.

POSICION SISTEMATICA

Hintze. Vol. 1 p. 2645
Strunz. pág. 101
Dana. Vol. 2 p. 78



YACIMIENTO

Yacimiento tipo (descubrimiento) Zona oxidada de los mantos mineralizados del Dto. Minero El Boleo: mina Amelia, Sta. Rosalía, B.C.S.

Mineralogénesis Cristalización eutéctica de cloruros de *Cu* y *Pb* en medio montmorillonítico impregnado por una sol. pobre de *Ag*.

Paragénesis Oxidos de *Cu* (crisocola, azurita, malaquita, atacamita), de *Mn* y de *Fe*, yeso, ahidrita, calcita, barita, y cuarzo (calcedonia, jaspe).

Minerales análogos Cumengeíta, azurita, arfvedsonita, lasurita, linarita. Acompañan también anglesita, cerusita, fosgenita, piromorfita, ... en grandes masas de anhidrita.

Localización:

En México:

Mina Amelia, arroyo de la Soledad, del Dto. Minero de El Boleo, Sta. Rosalía, M^o de Mulegé., B.C.S. (V. Figs. 3 y 4)

En el extranjero:

Mina de San Agustín, cerca de Huantajaya, Chile.

Challocollo, Cerro Gordo, Tarapacá, Chile.

South Mine, Broken Hill, New South Wales, Australia.

ECONOMIA MINERA

Depósitos minerales de valor económico nulo.

Valor industrial nulo

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

(V. al final del informe)

Estudio crítico

BOLEITA

(Mallard y Cumenge, 1891)

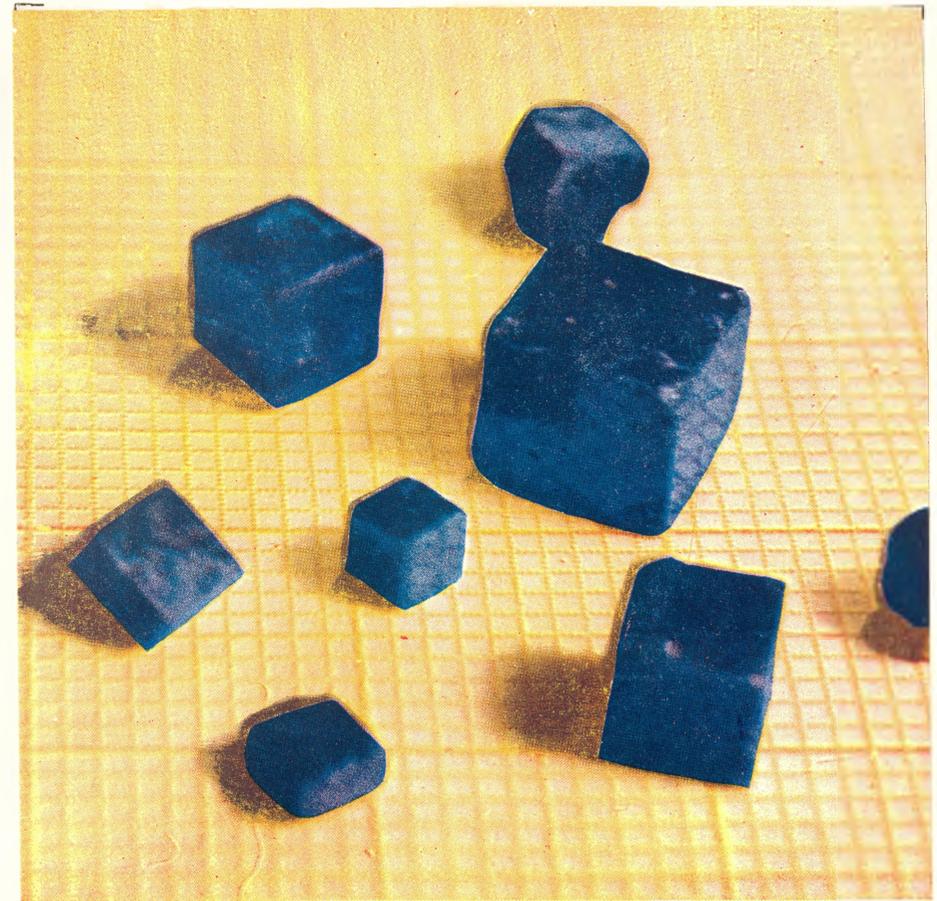


FIG. 1. Cristales de boleita.



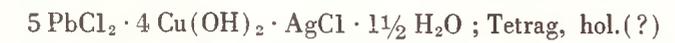
$$a_0 = 15'186 \text{ \AA}$$

$$Z = 8$$

Cúbica enantiomórfica

$$O^1 - P 4 3 - C_2$$

Strunz, 1949:



$$a_0 = 15'4 ; c_0 = 62'0 (=8.7'75) ; c_0 : a_0 = 4'026$$

$$Z = 24$$

BOLEITA

(Mallard y Cumenge, 1891)

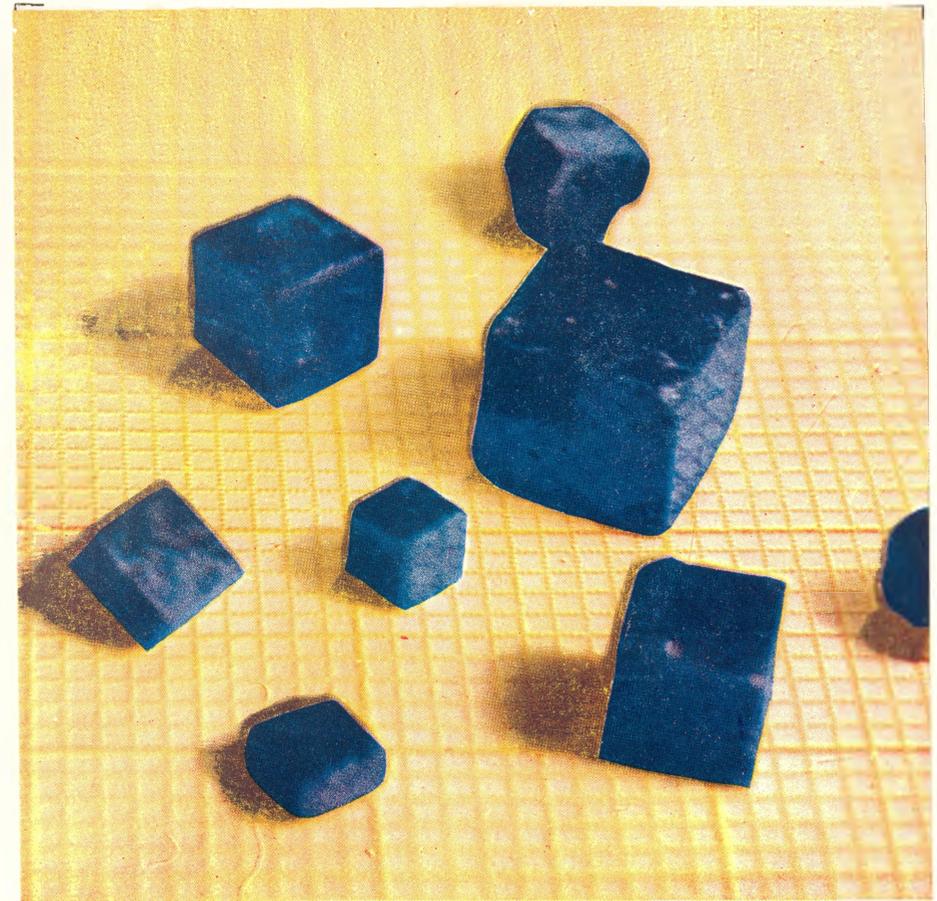


FIG. 1. Cristales de boleita.



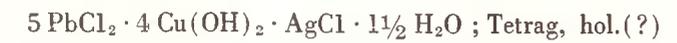
$$a_0 = 15'186 \text{ \AA}$$

$$Z = 8$$

Cúbica enantiomórfica

$$O^1 - P 4 3 - C_2$$

Strunz, 1949:



$$a_0 = 15'4 ; c_0 = 62'0 (=8.7'75) ; c_0 : a_0 = 4'026$$

$$Z = 24$$

Dana, 1957: (?) $\text{Pb}_{108}\text{Cu}_{96}\text{Ag}_{36}\text{Cl}_{252}(\text{OH})_{192} \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$; Tetragonal
 $a_0 = 15'4 \text{ kX}$; $c_0 = 62'0$; $a_0 : c_0 = 1 : 4'02$
 $Z = ?$

En este trabajo, y admitiendo el parecer de Gossner y Arm (1930), se tiene a la especie reconocida por algunos autores como PSEUDOBOLEITA, cual especie no autónoma, siendo una variedad zonal de boleíta, cuya ausencia o poco contenido de plata provoca las perturbaciones estructurales con respecto a la constitución de la boleíta, que al traducirse por unas anomalías ópticas de birrefringencia permitieron suponerla como tetragonal. Las pruebas a que se le ha sometido por los métodos modernos de investigación, confirman su identidad con la boleíta.

NOMBRE:

Boleíta: de las minas de cobre del Distrito Minero de El Boleo, Baja California Sur, en donde se hallaron los primeros ejemplares.

ETIMOLOGIA:

De El Boleo, denominación del distrito cuprífero que a su vez debe su nombre a los nódulos o *boleos* (apelación minera regional) de carbonato y óxidos minerales que se presentan en la zona de oxidación (XX Congr. Geol. Int., 1956, pág. 65).

SINONIMIA.

Argentopercylita (Schulze) Chem. Ztg. 16 (1892) 1953.

Percylita, pr. pt. (Mallard y Cumenge, 1891): apelativo con que se llamó primero a la zona que luego se tuvo como de pseudobleíta. Esta denominación fue equívoca, por ser la asignada ya a una especie diferente, descubierta por Booke en Sonora, México.

Pseudobleíta, pr. pt. (Lacroix, 1895), se aplicó a una zona externa de boleíta. Durante mucho tiempo se tuvo como una especie mineral autónoma.

POSICION SISTEMATICA

Hintze, 1915: Vol. 1, parte 2., pág. 2645.

Clase: Haluros (Cloruros y Oxiclururos).
 Grupo del oxiclورو de plomo.
 10: **BOLEITA.**

Strunz, 1949, 2º Ed., pág. 101.

III CLASE: Halogenuros.

C₀: Oxihalogenuros.

Grupo 4º: Grupo de la Boleíta.

BOLEITA.

Dana, 1951, 7º Ed., Vol. II, pág. 78.

Clase: Haluros.

Tipo: 2.— $A_m B_n (O, OH)_p X_q$

Nº: 10.2.1. **BOLEITA.**

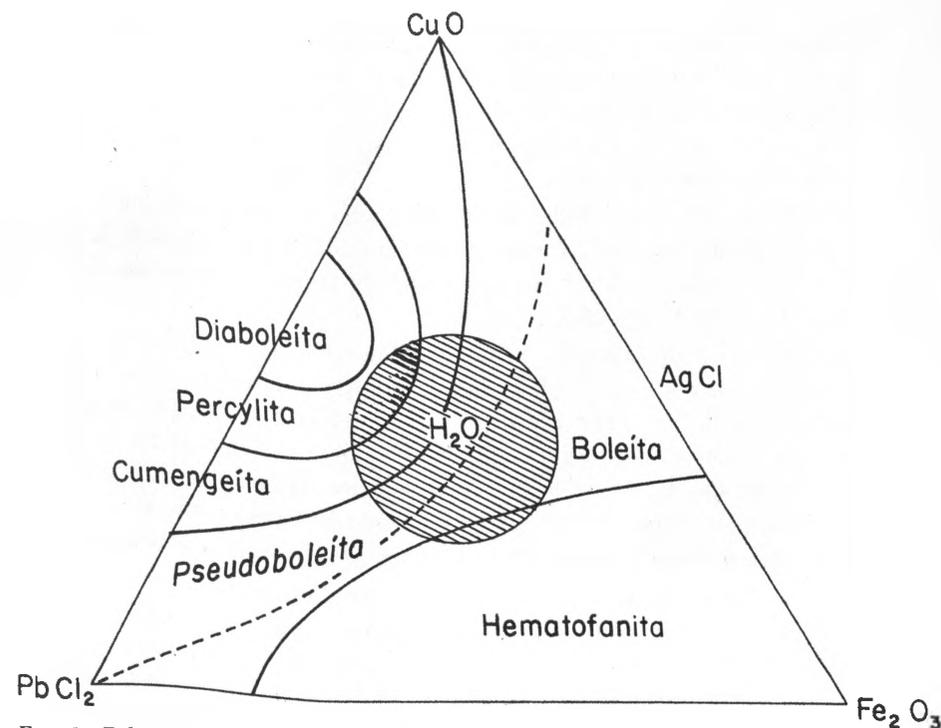


Fig. 2. Relaciones de familia entre las especies constituyentes del grupo de minerales de la boleíta.

PUBLICACION DE SU DESCUBRIMIENTO:

Mallard, E. y Cumenge, E.

Sur une nouvelle espèce minérale, la Boléite.

Compt. Rend., Acad. Sciences Paris. 113 (1891) 519-524.

PRIMEROS ESTUDIOS:

Los cristales de *boleíta* fueron encontrados por E. Cumenge en el yacimiento de cobre de El Boleo, precisamente en el "Tiro Cumenge" de esas minas cerca del puerto de Sta. Rosalía, Municipio de Mulegé, Baja California S.

Dichos depósitos cupríferos fueron descubiertos en 1868, en el entonces llamado distrito minero de Sta. Agueda.

E. Cumenge fue uno de los primeros ingenieros de minas de la "Compagnie du Boléo" fundada en 1885.

La primera publicación en donde se da noticia del descubrimiento aparece en los Compte Rendu Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris Vol. 113 (1891) págs. 519-524, al presentar sus autores E. Mallard y E. Cumenge unos ejemplares de *Boleíta* y de *Cumengeíta* que habían sido llevados por éste a París, y luego estudiados por el primero.

Desgraciadamente, este estudio inicial fue hecho con poca seriedad y con numerosas afirmaciones gratuitas, y reproducido casi idéntico no obstante la responsabilidad de esta segunda edición, en el Bulletin de la Société Française de Mineralogie, Vol. 14 (1891) pág. 283.

La mejor crítica de la citada primera publicación puede deducirse de otra nota que aparece dos años más tarde en el mismo órgano de esa Sociedad Francesa de Mineralogía (Bull. Soc. Franc. Mineralog. 16 (1893) 184-195, por la que Cumenge pretende enderezar ciertas inexactitudes. Esta observación es digna de tenerse muy en cuenta, ya que las recopilaciones mineralógicas redactadas sin sentido crítico se han encargado inconscientemente de mantener los errores iniciales.

En otro viaje a México, recoge Cumenge más muestras del nuevo mineral.

Beaugrand (1894) presentó a la Soc. Geol. de Normandie unos ejemplares recogidos por Digué, químico de la Sec. de El Boleo, y que luego cedió al museo del Havre. Habla de un mineral extremadamente raro, ya que dicho empleado no pudo hallar más ejemplares en sus varios meses de residencia en Baja California.

En ese mismo año de 1894, publica Liversidge una nota sobre una muestra identificada por él como la recientemente descubierta *boleíta* (variedad de *percyilita* (?), que le fue enviada por McKay, Gerente de las Broken Hill South Mines, Australia, tenida por éste como *azurita*.

Desde al año siguiente dirige Friedel (Friedel, 1892 y 1894) sus investigaciones para lograr cristales artificiales de la nueva especie.

Lacroix alude someramente a los cristales recién descubiertos, en una nota preliminar que data de 1895 (Bull. Museum d'Hist. Naturelles, No. 2 (1895), y en donde por vez primera distingue gracias a mediciones de birrefringencia, los ejemplares de *pseudoboleíta* que acompañan a los de *boleíta*.

Friedel estudió con más seriedad, aunque no libre de prejuicios, unos ejemplares de *boleíta* y de *cumengeíta* de las colecciones pertenecientes a las Escuelas de Minas de Saint-Etienne y de París, así como unas 50 preparaciones micrográficas de Mallard y de Lacroix.

Unos años más tarde (en 1919) publicó Hadding un trabajo bien ponderado sobre la *cumengeíta* y la *boleíta* (Geol. Förm. Förhandl 41.2 (1919) 175-192, a base de unos cristales que llevó Friedel al Instituto Geológico-mineralógico de Lund (Hadding, 1919).

En la presentación de la especie *boleíta* recién descubierta, se comprendieron primero otras diferentes bajo la misma denominación. Estudios posteriores han permitido mantener sólo dos miembros que se admiten actualmente como unidades autónomas: la *boleíta* y la *cumengeíta*. En el desarrollo histórico de su estudio cristalográfico se han ido tratando como tres minerales:

a) Dos fueron reconocidos ya por Mallard: Luego de las primeras observaciones, se notan dos especies diferentes en ese conjunto de ejemplares: el *argentífero*, que conserva la denominación inicial de *boleíta* y el *no argentífero* que recibe otra de Mallard la de *cumengeíta* — en atención a su descubridor.

Boleíta: cubos con caras de octaedro y de rombododecaedro.

Cumengeíta: formas de bipirámide tetragonal.

b) El tercero:

Pseudo-boleíta: especie ya vislumbrada y mal interpretada por Mallard, fue descrita explícitamente por Lacroix: cubos con ángulos entrantes según las direcciones de las aristas, formados por caras (210), con textura interna compleja.

Se trata de asociaciones en donde figura siempre *boleíta*, y muy a menudo *cumengeíta*, con la tercera especie *pseudo-boleíta*, que no se conoce en cristales aislados. Su complejidad y pequeñez hacen difícil su estudio (Mallard la tenía como constituyente de la parte isótropa e interna de la *boleíta*, y la designó como *percyilita*: denominación ya asignada a otra especie diferente). (Friedel, 1906).

E. Dana (Min. (1892) 1028) opina luego de la publicación de Mallard y Cumenge que se trata de una sustancia dimorfa, y propone el nombre de *boleíta*

para la parte tetragonal, conservando el de percyllita para la sustancia regular (Hintze, 1915).

Gossner y Arm (1928, 1929, 1930) publican unas observaciones más avanzadas, basándose en datos röntgenológicos y destruyen algunas afirmaciones clásicas demasiado conceptuales. Friedel (1930) critica ese trabajo y procura defender sus antiguos puntos de vista, aunque sin aportar mediciones ni datos de röntgenogramas.

Los dos artículos de Hocart (1930, 1934) tienden a revindicar las doctrinas de Friedel, acudiendo en su ayuda y examinando la boleíta con rayos X.

Siguiendo el parecer de Gossner y Arm (1930) se procurará probar que la pseudoboleíta no es una especie autónoma, sino únicamente un aspecto óptico de la boleíta. Sus descubridores Mallard y Cumenge (1891) la tuvieron inicialmente como tal.

El estudio más elevado a que se llega en el conocimiento de esta especie, es el de la determinación de su parámetro elemental y a cierta aproximación aún discutida sobre el contenido de la celda.

YACIMIENTO:

Loc. tip.: Sta. Rosalía, B.C.S.

En la noticia del descubrimiento de la boleíta se informa de su yacimiento como formado por capas de cobre intercaladas entre tufos y conglomerados traquíticos y vulcanitas de la región. El cobre está como carbonatos, óxidos, atacamita, silicatos complejos y aunque raro, sulfuro.

“Elle —la Boléite— se présente, dans certaines régions, en quantité assez grande pour constituer un véritable minerais” (Mallard y Cumenge, 1891a) afirmación ésta fantásticamente exagerada.

La descripción siguiente se entresaca de la obra de Wilson (1957) sobre esos depósitos cupríferos: los depósitos de cobre del Boleo son cuerpos tabulares de ligera inclinación confinados a ciertas capas de tobas arcillosas de la formación Boleo.

El cuerpo mineral primario es una toba arcillosa, suave, de color oscuro con un alto contenido en humedad. El mineral primario principal es calcocita finamente diseminada; tiene como minerales subordinados calcopirita, bornita, covellita y cobre nativo.

El yacimiento comprende dos zonas: a) la zona de sulfuros, y b) la zona oxidada.

El principal mineral primario en la zona de sulfuros es calcocita. Ocurre en cristales muy pequeños o granos diseminados, comúnmente microscópicos.

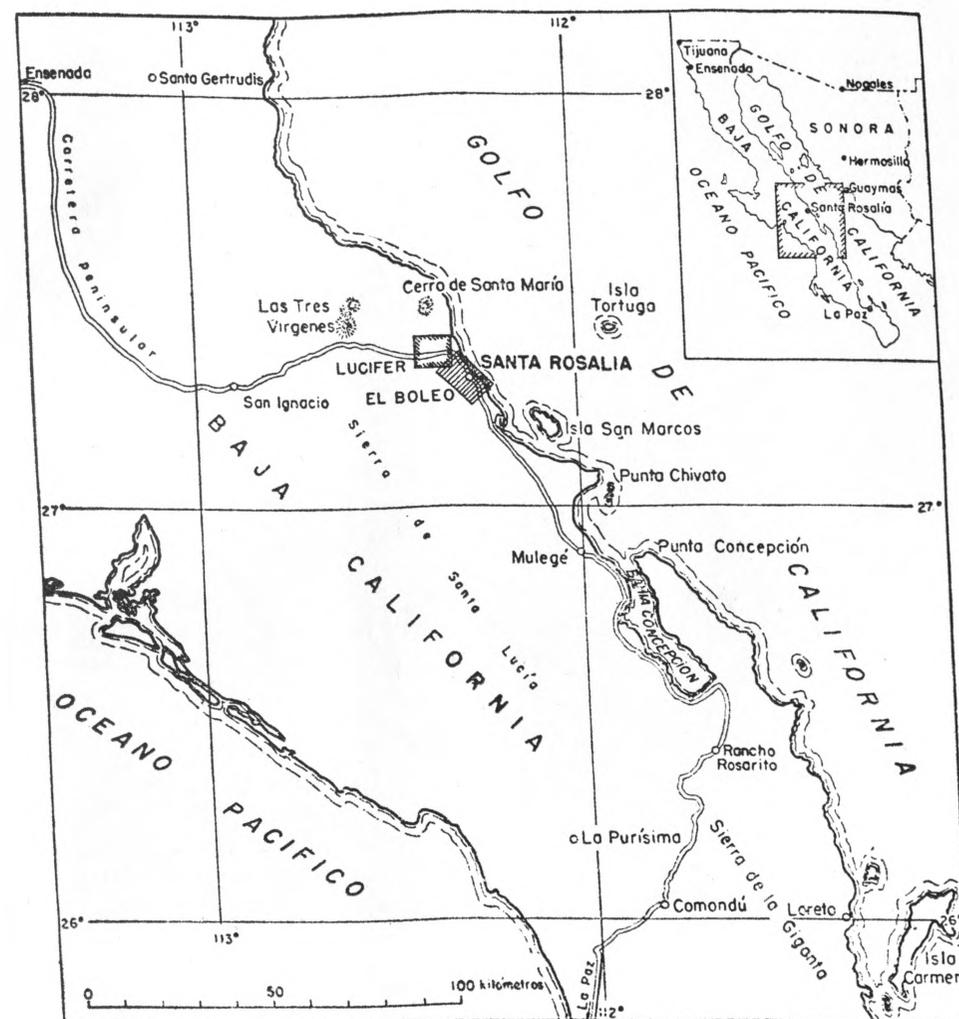


FIG. 3 Mapa índice de parte de Baja California, México, mostrando la localización del Distrito cuprífero de El Boleo, y su relación con el Distrito manganesífero de Lucifer— (Fig. de Wilson, 1957).

Los mantos mineralizados del distrito del Boleo han proporcionado una rica variedad de minerales, particularmente dentro de la zona oxidada. En total, han sido identificados unos 60 ejemplares de las rocas cargadas de mineral en el distrito.

En la zona oxidada, aproximadamente 25 metros sobre el nivel del mar, hay una gran variedad de óxidos, carbonatos, silicatos y oxiclорuros incluyendo algunas especies raras de mineral. El principal mineral de ganga es la montmorillonita, junto con óxidos de cobre, de manganeso y de hierro y cantidades menores de yeso, calcita, calcedonia y jaspe. Elementos más raros que ocurren en cantidades notables son zinc, cobalto, plomo y plata.

El mineral de cobre oxidado dominante es la crisocola, acompañadas en algunas especies de azurita, de malaquita y de atacamita. Algunos otros minerales acompañantes son principalmente montmorillonita, óxidos de manganeso y de hierro, además de calcita, yeso, baritita y sílice opalina, en parte cristalizando, y cuarzo.

Posiblemente los minerales más notables son la boleíta y la cumengeíta, extremadamente raros, ambos oxiclорuros de plomo y de cobre (adicionalmente con algo de cloruro de plata en la boleíta) que por vez primera fueron descritos. La boleíta también ha sido encontrada en Chile y en New South Wales, pero la cumengeíta no ha sido identificada en otra parte, por cuanto se sabe ahora.

Estos minerales fueron encontrados en un área bastante pequeña del manto mineral No. 3, en la misma Amelia, cerca del tiro de Cumenge. La localidad fué agotada hace muchos años y el tiro desde hace mucho se ha derrumbado. Unas pocas especies de estos minerales pueden ocasionalmente encontrarse en los terrenos, pero es probable que la mayoría de las especies existentes se encuentran hoy día conservadas en los museos.

Un mineral también único del distrito del Boleo es una smithsonita cobaltífera, color de rosa, descrita por Warren (1898). Consiste en partículas cristalinas de un color rosado delicado, asociado con atacamita y encajonado en yeso.

Otros dos minerales de cobalto han sido referidos del distrito del Boleo, esferocobaltita y remingtonita, aunque no es seguro que el último sea una especie distinta.

Los minerales de plomo anglesita, cerusita, fosgenita y piromorfita han sido encontrados en asociación con el grupo de minerales de boleíta, pero no ocurren en cantidades comerciales. La anglesita fue analizada por Genth (1893) y se encontró que era realmente una mezcla mecánica de yeso y de anglesita.

La fosgenita se presenta en grupos de pequeños cristales prismáticos (Mallard y Cumenge, 1891b, p. 283). La piromorfita está como cristales de color anaranjado-amarillentos, circundada por cristales de yeso, de acuerdo con Lacroix (1898, p. 43-44).

La gran masa de la ganga está compuesta por minerales de arcilla, que se han formado por alteración de los minerales comunes de las rocas y el vidrio de la roca tobácea original que componen los mantos minerales.

El mineral de la ganga dominante es un miembro del grupo montmorillonita-saponita o montmorillonita-beidelita y se considera muy semejante a la montmorillonita de acuerdo con los estudios de Ross y de Milton. En la zona de sulfuros la montmorillonita es generalmente de gris claro a gris oscuro, pero en las muestras de mineral oxidado estudiadas por Milton, tiene una variedad de colores. Comúnmente es de color crema a café, pero en algunos lugares también es de color rosado, verde, de piel de ante o negro de cera.

Aparte de los minerales de arcilla y de los óxidos de manganeso y de hierro, los minerales de la ganga más abundantes son el yeso, la calcita, la calcedonia y el jaspe.

Un constituyente peculiar del cuerpo mineral es la halita, que se encontró de acuerdo con análisis químicos, esparcida ampliamente en la toba y que fue reconocida también por análisis químicos y estudios por rayos X.

La anhidrita es un constituyente de las masas grandes de yeso que en algunos lugares subyacen y están penetradas por los mantos minerales. (Wilson, 1957)

LOCALIDADES:

Se ha encontrado boleíta en las siguientes localidades:

Mina Amelia, del Distrito Minero de El Boleo, Sta. Rosalía, Municipio de Mulegé, Baja California Sur, México.

Mina de San Agustín, cerca de Huantajaya, Iquique, Chile.

Chalcollo, Cerro Gordo, Tarapacá, Chile.

South Mine, Broken Hill, New South Wales, Australia.

EJEMPLARES ESTUDIADOS:

Proviene de la colección del Instituto de Geología de México (Ciudad Universitaria). Esos ejemplares forman parte de su Museo de Mineralogía que continúa en la antigua sede del Instituto, Calle Ciprés No. 176, Col. Sta. María.

También fueron estudiados tres cristales que tiene en su colección el Consejo de Recursos Naturales No Renovables, Niños Héroe 139, México 7, D. F.

PRESENCIA:

Cristales cúbicos independientes.

La boleíta se presenta en cristales con hábito francamente cúbico, aunque Gossner (1929) los cite como de hábito octaédrico. Cabe aquí tener esta aseveración como propia de la cumengeíta y no de la boleíta: probable error de dicho autor. Su color es azul índigo, diseminados por una ganga arcillosa blanca (Cumenge, 1893) (accidentalmente rojiza y aun verdosa), de naturaleza eruptiva, traquítica principalmente, llamada vernacularmente jaboncillo. (Mallard y Cumenge, 1891). Abandona los cristales, por lo general pequeños, aunque excepcionalmente hasta de 2 cms de lado (Mallard y Cumenge, 1891) al desleír la masa arcillosa en agua.

Aunque por lo general, los cristales de boleíta van independientes, suelen hallarse también en maclas de penetración de dos o más cubos.

A la boleíta acompañan cristales de anglesita, sobre la que pueden formarse epicrecimientos, la fosgenita, cerusita, atacamita, (Mallard y Cumenge, 1891) y cumengeíta.

Genth describe la asociación peculiar de anglesita con boleíta, (Genth, 1893) citada antes por Mallard y Cumenge en 1891, cual anglesita que contiene un 2% de boleíta. Hace notar aquel autor que estos cristales de "anglesita del Boleo" $2\text{PbSO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ son una pseudomorfosis según un mineral de composición $2\text{PbSO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ cuyo sulfato de calcio se hubiera transformado en yeso. (Genth, 1893).

Liversidge (1894) indica que los cristales de boleíta de Broken Hill se hallan en una matriz de hematita parda y de cuarzo. Algunos cristales se implantan en la superficie de la hematita; mientras que otros son englobados por ella.

HABITO:

Cúbico. Por lo general, cubos sencillos aunque frecuentemente maclados.

La forma descrita por los primeros autores fue predominantemente la cúbica [100] (de caras brillantes, aunque no bien planas) (Mallard y Cumenge, 1891), combinada en algunos ejemplares con el octaedro [111] (de caras nítidas y brillantes) y excepcionalmente, con el rombodecaedro [110] (caras muy planas).

Llamaron la atención ciertos cristales con ángulos entrantes según las aristas del cubo, y se procuraron interpretar como formas de boleíta; luego se explicaron como epicrecimientos holoácicos de una sustancia análoga denominada pseudoboleíta, sobre cubos de boleíta. Actualmente se explican estos cristales como maclas de entrecruzamiento paralelo de cubos de boleíta (Gossner y Arm, 1930).

Encuéntrense asimismo unas formas de hábito bipiramidal que también podrían tenerse equivocadamente como de boleíta: se trata de pirámides tetragonales de cumengeíta en agregados asimismo holoáxicos.

La boleíta tiene hábito francamente cúbico sencillo.

De este parecer fue Liversidge, al extrañarse cómo Mallard y Cumenge pudieron tener a la boleíta como tetragonal: les justificó pensando que quizás se trataba de un mineral dimorfo.

CRISTALIZACION:

Cúbica holoédrica.

Cristaliza en cubos, $[100]$, combinados con caras de octaedro $[111]$ y de rombododecaedro $[110]$. (Hadding, 1919).

Su carácter cristalográfico no ha sido bien comprendido; aunque por la apariencia externa de los cristales se les tiene como del sistema cúbico.

Las caras, aunque brillantes, tienen cierta deformación, de modo que los reflejos goniométricos (sobre todo los de las caras cúbicas) no son precisos: el reflejo de Websky resulta múltiple y dando una aureola confusa, dentro de la cual se suele apreciar uno o dos de ellos con mayor nitidez.

Friedel demostró la diferente composición de la boleíta entre su núcleo y cubierta externa. Hadding basa esa heterogeneidad en el diferente peso específico de las dos regiones antedichas de la sustancia.

Los datos obtenidos por diagramas de rayos X no ponen en evidencia la textura compleja de la boleíta con sus áreas iso- y anisótropas (Gossner, 1928). Los diagramas presentan una ordenación regular (e.e. cúbica) y una simetría con respecto a la línea ecuatorial en las oscilaciones por $[100]$ y $[110]$.

La "boleíta cúbica", que sólo presenta la forma $[001]$, tiene partículas de fuerte birrefringencia en sus capas externas: todas son químicamente idénticas a las de boleíta y tienen casi igual el diagrama de cristal giratorio por $[100]$. (Gossner y Arm, 1929).

Sin embargo, y en contra de cierta diferencia estructural posible entre las partes isotropas y anisótropas en el cristal cúbico de boleíta (y entre su parte central y periférica), hemos de hacer notar que en los varios diagramas, tanto de cristal giratorio cuanto ecuatoriales de Weissenberg (ambos por $[001]$ como eje de giro) de radiación $\text{CuK}\alpha$ con filtro de Ni, se nota con mucha claridad una coincidencia perfecta de las manchas. Trátase muy posiblemente de dos sustancias de iguales naturaleza química, estructura. . . puesto que todas las manchas ofrecen iguales intensidades y extinciones.

Friedel (1930) tiene a la boleíta como al ejemplo más "magnífico y contundente de mimetismo cúbico debido a su maclado, y sin relación con la pseudosimetría cúbica, ni con las pretendidas anomalías ópticas" (sic).

Su carácter anisótropo se debería sólo a las anomalías ópticas producidas por las tensiones resultantes de la sustitución isomorfa del AgCl por PbCl_2 , o entre éstos y el $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Hipótesis de Friedel, sobre la tetragonalidad de la boleíta:

Si bien se la tuvo primero por pseudo-cúbica, tanto por sus descubridores (1891) cuanto por Friedel (1906) quien volvió sobre el estudio de ejemplares naturales y de otros que logró artificialmente, se admitió al cubo de boleíta como un agregado holoáxico formado por el intercrecimiento de tres cristales tetragonales cuyos sendos ejes principales eran respectivamente paralelos a los tres cuaternarios del cubo.

Friedel (Friedel, 1906) interpretó a esas combinaciones desde su punto de vista de la tetragonalidad de la boleíta, como caras de pirámides tetragonales de 1ª y 2ª especies, (114) y (104).

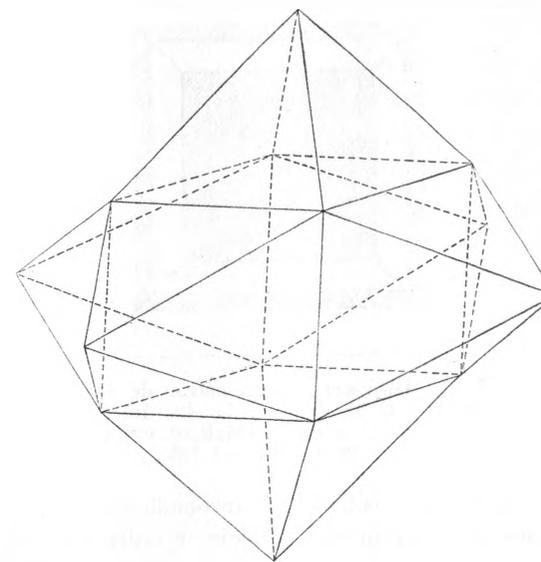


FIG. 5. Agrupación de pirámides tetragonales de cumengeíta sobre las caras de un cubo de boleíta (Según Mallard y cumenge, 1891).

Asimismo, desde el punto de vista de su hipótesis, las caras de octaedro regular y rombododecaedro (que sólo aparecen en cristales sin envuelta birrefringente), pertenecen a la zona central. Ese octaedro, referido al cristal tetragonal es (114); el rombododecaedro, referido también a ese cristal tetragonal sería (110) para una orientación y (104) para las otras dos. (Friedel, 1906).

Esta idea de Friedel se basa en los epicrecimientos de lo que se tiene por pseudoboleíta, sobre las caras de boleíta, que ya habían sido observados por Mallard (1893).

Como consecuencia de esta forma de maclado de esos individuos tetragonales, habían de resultar las anomalías ópticas que se notan en los cubos de boleíta (Gossner, 1928), tanto de las partes isótropas centradas, cuanto de su cubierta anisótropa: en el centro existiría una repartición casi igual de las tres orientaciones tetragonales (Friedel, 1906).

Friedel confirma su convicción de que la boleíta es tetragonal, con $c/a = 4$, mediante sus investigaciones goniométricas, de exfoliación y de corrosión (Friedel, 1930). Sin embargo, el hábito cúbico de estos cristales no está en armonía con la relación citada (exactamente es $c/a = 3'996$).

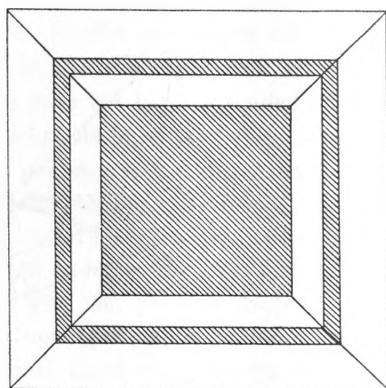


FIG. 6 Disposición esquemática de la materia de un cubo de boleíta. Interpretación de Mallard (Mallard y Cumenge, 1891) (Mallard, 1893).

Al aparecer el estudio muy completo y razonado de Gossner y Arm (1930) sobre varios minerales de constitución compleja, y entre ellos sobre todo los del grupo de la boleíta, y demostrando sus asertos por métodos röntgenológicos, cree Friedel contestarlo en el mismo Zeitschrift für Kristallographie con un artículo que defiende sus antiguos puntos de vista. Desgraciadamente se aferra en sus

conceptos puramente morfológicos, basándolos en ciertas exfoliaciones provocadas, que Gossner y Arm no pudieron verificar (aparte de excusarse por no tener y presentar fotografías de ellas (!); y mirando con cierto desdén los procedimientos modernos de investigación röntgenológica.

Insistiendo así en la textura interna e isótropa de la boleíta, a base de “numerosos individuos tetragonales de dimensiones submicroscópicas” (Friedel, 1930), no tuvo en cuenta que sus diagramas no deberían resultar con la nitidez con que se logran, sino más bien ofrecer unas figuras de repartición estadística: unos anillos de Debye-Scherrer o unas figuras polares.

Además, esta idea sobre la tetragonalidad de la boleíta se basa únicamente en sus anomalías ópticas observadas, pretendiendo darles así la única explicación posible, lo cual no es legítimo pensar, tanto más que aún cuando ese comportamiento anómalo pueda recibir otras interpretaciones, no está conforme aquella con tantas otras evidencias. Según Hadding, de estar formado el núcleo por partículas tetragonales no aclararía el que en otras partes no lo estuviese también (Hadding, 1919).

Este autor estudió varios cristales sin rastros del maclado de cuerpos tetragonales en ninguno de ellos: 2 cubos sencillos, un cubo-octaedro con igual desarrollo de caras, y dos cristales cubo-octaedro con éste dominante. (Hadding, 1919). Observó en la mayoría una pequeña cara de rombododecaedro. No encontró razón alguna para admitir a la boleíta como tetragonal.

Interpretación del estrato llamado de Pseudoboleíta:

La zona llamada pseudoboleíta se tuvo inicialmente como boleíta que se manifestaba por la asociación holoáxica de 3 cubos, quedando unos surcos en las direcciones de las aristas del cubo central. Luego se la ha interpretado como un epicrecimiento paralelo (holoáxico) de las caras del cubo de boleíta.

Para Gossner (1928) se trataría de una interpenetración de dos cubos simples.

A. En una primera interpretación de esas placas apuestas sobre las caras del cubo de boleíta, se las tuvo como de la misma sustancia (Mallard y Cumenge, 1891) y se procuró buscar una explicación de los ángulos entrantes que aparecen como surcos dirigidos según todas las aristas.

a). Las placas que dan la impresión de superpuestas a las caras del cubo se atribuyeron a un complejo de tres cubos en agregado holoáxico, los tres cristales estarían maclados según las caras de una pirámide (001). Cada cristal suele estar limitado por las caras $p(001)$, de modo que el conjunto adquiere la forma de un cristal cúbico (Mallard y Cumenge, 1891 b).

b). Mallard supuso luego que ciertos cristales tenían caras (012), que al desaparecer darían origen a los citados surcos (Mallard y Cumenge, 1891 b). Un estudio más completo por estos autores, sobre su morfología, indicó que las paredes del surco se deben a las ablaciones atribuibles a las caras $p(001)$, $m(110)$, $a'(021)$ y $a(053)$.

Puede darse el caso de hallarse sólo las caras (053).

c). Mallard (1893) interpretó después falsamente los susodichos surcos como formados por caras de exoctaedro: el ángulo ($p:l$) lo creyó de $63^{\circ}26'$.

Al retractarse de esa falsedad dio por excusa un error de medición ya que según mejores apreciaciones es de $63^{\circ}44'$ (!).

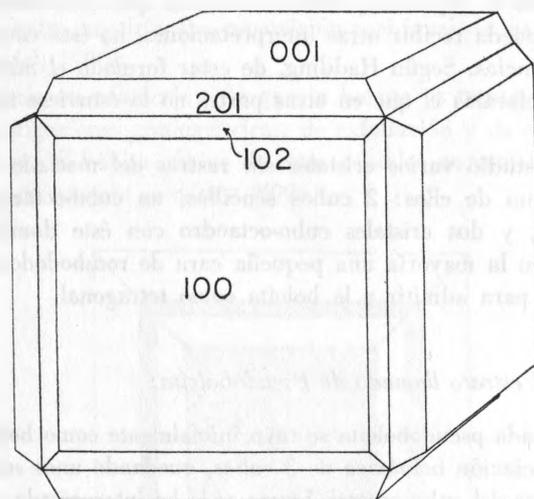


FIG. 7. Aspecto de un cristal sencillo de pseudoboleíta. Su núcleo cúbico es de boleíta (Mallard y Cumenge, 1891; Mallard, 1893).

Es de aceptarse su rectificación aunque la excusa aludida tenga tan poco valor cual es una diferencia de medición de tan solo $18'$, muy tolerable como margen de error experimental.

d). Posteriormente (Mallard, 1893) opina que ese estrato externo de boleíta se podría llamar Percylita, sin que afirmase categóricamente su identidad con la percylyta ya descubierta por Brooke en Sonora. Como esta apelación inducía a equívoco, Lacroix (1895) lo designó como "pseudoboleíta", nombre que ha prevalecido hasta hoy día como propio de una especie mineral autónoma.

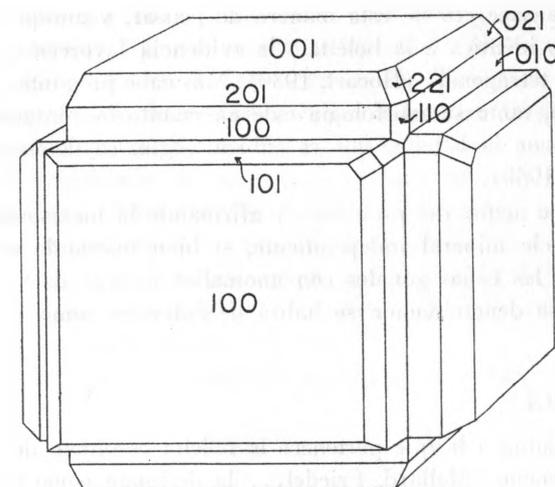


FIG. 8. Caras que pueden aparecer para formar los surcos de las aristas en la zona llamada de la pseudoboleíta. El núcleo cúbico central es de boleíta; las placas superpuestas son epícrecimientos de pseudoboleíta (Friedel, 1906).

e). Al ser estudiada esta parte — yuxtapuesta a los cubos de boleíta con el microscopio polarizante (Mallard, 1893) se la halló birrefringente, uniaxial y ópticamente negativa, con su eje óptico perpendicular a la cara cúbica subyacente.

Estas observaciones ópticas desconcertaron a los primeros autores, quienes no las hallaron compatibles con el aspecto cúbico de las formas y pensaron atribuir las al sistema tetragonal.

f). Mallard (1893) sugirió que esa parte birrefringente debía ser cumengeíta, dada su naturaleza tetragonal de ambas. Para este autor, tanto el cubo central de boleíta cuanto sus placas apuestas de pseudoboleíta, estarían constituidos por epícrecimientos de esta última. También habla de esta especie refiriéndose a cumengeíta, en la descripción que hace en su segundo trabajo (Mallard, 1893 a).

La parte llamada pseudoboleíta recubre siempre a los cristales, aún simples, de boleíta (V. Cristales complejos de boleíta) y su complejidad hace difícil su estudio (Friedel, 1906), de manera que se las ha tenido como idénticas ambas especies (a pesar de su mayor birrefringencia). En el debate sobre este punto han sostenido el parecer favorable Gossner y Arm (1919, 1930), y el parecer contrario Friedel, (1906, 1930) y Hocart (1930).

B. Para Friedel (1930) en ese estrato de pseudoboleíta se trata de una sustancia con estructura tetragonal, y diferente de la boleíta. La compilación del Dana's

System (1957) se hace eco de esta manera de pensar, y aunque reconoce que se la ha tenido como idéntica a la boleíta, "la evidencia favorece su carácter individual y su simetría tetragonal" (Hocart, 1930). Más cabe preguntar ¿qué evidencia?

C. De hecho, tanto su morfología externa cuanto la röntgenográfica abogan por su identidad con la boleíta, que es cúbica, según se demuestra en su lugar. (Gossner y Arm, 1930).

Dado el estado actual del problema, y afirmando la inexistencia de la pseudo-boleíta como especie mineral independiente, si bien tolerando el apelativo como propio de una de las capas zonales con anomalías ópticas de la boleíta, siempre que se acuda a esa denominación se habrá de entender como referencia a dicho estrato.

CRISTALOMETRIA

La clase cristalina a la que pertenece la boleíta es objeto de controversia por parte de dos tendencias: Mallard, Friedel... la designan como tetragonal pseudo-cúbica; mientras la mayoría de los autores modernos la tienen como francamente cúbica.

A. Para poder decidir sobre la solución más verosímil se procedió a la medición de 6 cristales, repitiendo unas cinco veces las mediciones de cada uno, con los siguientes resultados:

Nº	Refl.	Ángulos observados		Ángulos calculados		Simb.
		ρ	φ	ρ	φ	
1	5	90°00' ± 0°00'	0°00' ± 0°00'	90°00'	0°00'	010
2	5	90°00' ± 1°12'	90°00' ± 1°21'	90°00'	90°00'	100
3	5	90°00' ± 0°25'	180°00' ± 0°29'	90°00'	180°00'	010
4	5	90°00' ± 0°22'	270°00' ± 0°25'	90°00'	270°00'	$\bar{1}00$
5	4	0°00' ± 0°32'	0°00' ± 0°15'	0°00'	0°00'	001
6	5	54°44' ± 0°48'	45°00' ± 0°37'	54°44'	45°00'	111
7	5	54°44' ± 0°51'	135°00' ± 0°43'	54°44'	135°00'	$\bar{1}\bar{1}1$
8	5	54°44' ± 0°43'	225°00' ± 0°39'	54°44'	225°00'	$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$
9	5	54°44' ± 0°52'	315°00' ± 0°49'	54°44'	315°00'	$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$

Se prefirieron para su medición unos cristales cúbicos sencillos, bastante perfectos macroscópicamente, con sus vértices truncados.

Los reflejos de las caras son goniométricamente buenos, por lo general, aunque se nota una dispersión en las mediciones, sobre todo en las caras del octaedro.

Estas coordenadas que se consignan en la tabla anterior se han colocado en el estereograma adjunto (fig. 7), que admite una forma cúbica enantiomórfica, aseveración que se confirmará más adelante por las determinaciones röntgenológicas.

En efecto, basándose en la presencia de las caras más frecuentes: las de cubo y de octaedro —quizás también en las de rombododecaedro— no se puede decidir sobre la simetría morfológica de la boleíta, ya que las tres son propias de la holoedría y de las hemiedrías enantiomórfica y paramórfica. De pensar en una atribución a las clases hemimórfica y tetartoédrica, habría que interpretar las caras octaédricas tan claras, como pertenecientes a los dos tetraedros positivo y negativo simultáneos: esto no parece probable, ya que la totalidad de los ejemplares observados da base a la exclusión de esta hipótesis.

B. Dana (1957) cita a la boleíta como tetragonal pseudo-cúbica, con las siguientes relaciones:

$$a : c = 1 : 1'3996 \quad ; \quad p_o : r_o = 3'996 : 1$$

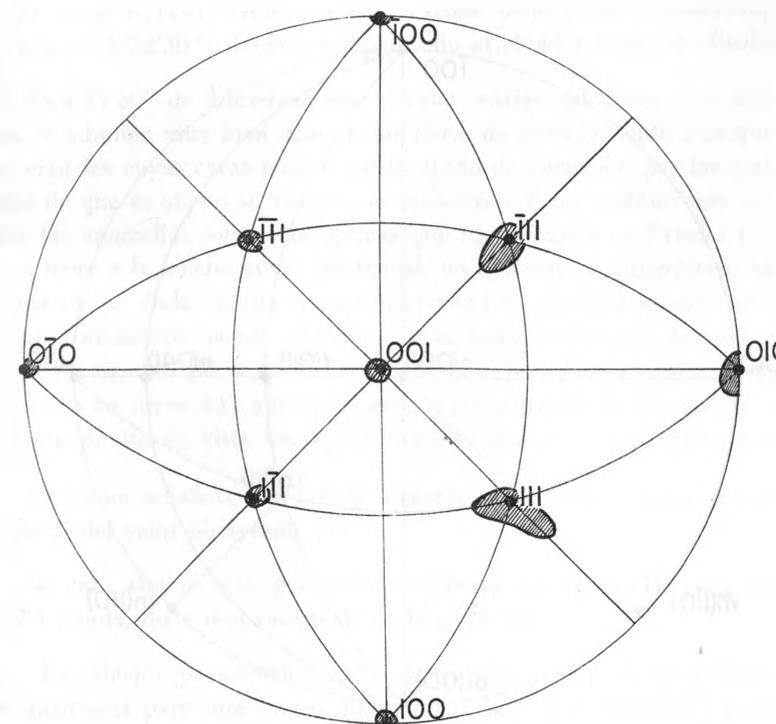


FIG. 9. Estereograma de las formas medidas en cristales de boleíta. Las áreas rayadas indican los ámbitos de dispersión de las mediciones obtenidas, dado el carácter de posición peculiar de sus caras.

Su cuadro de coordenadas esféricas azimutales es el siguiente:

Formas atribuidas	Valores citados		Valores corregidos	
	φ	ρ es:	ρ debería ser:	Formas preferibles
c(001)	.....	0°00'	0°00'	c(001)
m(110)	45°00'	90°00'	90°00'	m(110)
f(014)	0°00'	44°58'	45°00'	f(011)
e(011)	0°00'	75°57'	75°58'	e(041)
o(114)	45°00'	54°32'30''	54°44'	o(111)

Ante este cuadro de coordenadas esféricas caben algunas reflexiones que justifican las correcciones yuxtapuestas (se omiten los cálculos auxiliares):

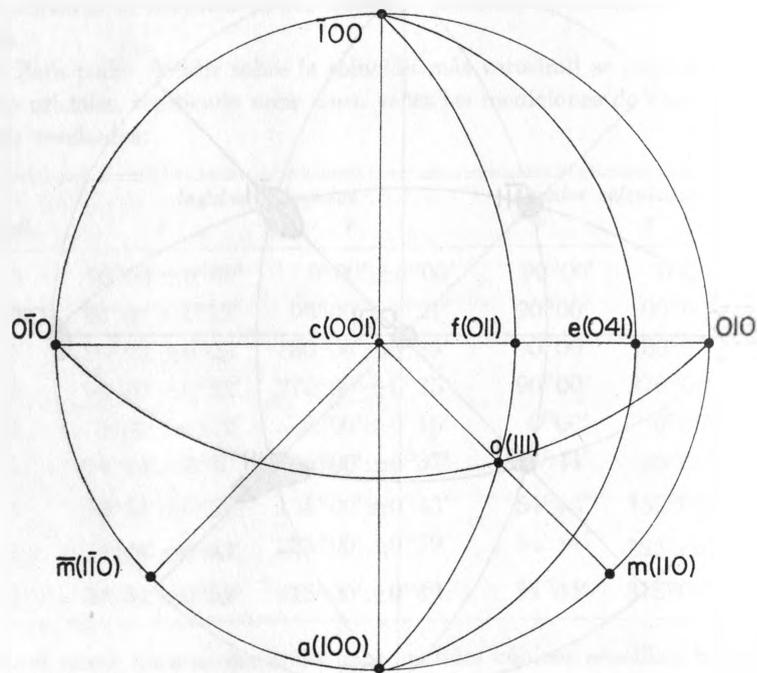


FIG. 10. Estereograma deducido de las coordenadas esféricas azimutales citados por Dana (1957), con la corrección de sus valores calculados a su numeración preferible.

1o. Si bien las mediciones son correctas, no deberían tenerse como concluyentes, por la dispersión inherente a las variaciones propias de las caras de boleíta. Llamen la atención por lo forzado y por el empeño implícito de mantener la tetragonalidad del mineral (Dana sigue el parecer de Friedel):

a) el no admitir como cúbico ese mineral cuyo estereograma no puede disimular su carácter patentemente isométrico.

En efecto,

b) el aspecto exterior del cristal lleva inequívocamente a tenerlo como cúbico, más bien que como tetragonal.

c) No hay razón para no elegir como cara fundamental (111) la cara que Dana cita como o(114). Nótese que la excusa tiene poca consistencia, pues la coordenada $\rho(54^{\circ}32'30'')$ debería ser para ello $\rho(54^{\circ}44')$ según el cálculo.

d) Esos 27'30'' de diferencia con el valor teórico calculado para esta cara en cuestión, se admiten muy bien como error físico de medida, tanto más que se trata de unos cristales cuyas caras poseen cierto grado de variación por las sustituciones isomorfas de que es objeto su materia al cristalizar. Estas sustituciones son las que provocan las anomalías solamente ópticas que han forzado (a Friedel y sus partidarios) a tener a la boleíta como tetragonal, no obstante no presentarse así röntgenológicamente: la duda basada en una propiedad no justifica su extensión a todas las demás. Únicamente puede aducirse cierta justificación por razones históricas (nació en los tiempos de la edad de oro de la cristalografía óptica, y aun no se trabajaba con los rayos X); aunque la insistencia posterior de Friedel por mantener sus antiguos puntos de vista hacen inadmisibles esas miradas indulgentes.

e) La forma señalada con f(014) debería ser la (011). Para ello $\rho(45^{\circ}00')$ dista sólo 2' del valor observado (!).

f) La cara simbolizada por e(011) debería ser la e(041): su coordenada $\rho(75^{\circ}57')$ citada, dista únicamente 1' de la $\rho(75^{\circ}58')$.

2o. La relación paramétrica dada por Friedel y aducida en el Dana (1957) resulta incorrecta para una forma que afirman ser "pseudocúbica", puesto que a lo más admitiría una relación paramétrica próxima a la unidad y no la 1:4. (Cabe decir lo mismo de la relación polar consignada, que es su consecuencia).

30. Los ángulos interfaciales que presenta el Dana's System, se deducen asimismo de las coordenadas que se han criticado. Aquí se expone una tabla suscinta con algunos de ellos:

Formas	001	100	010	011	111
001	0°00'	90°00'	90°00'	45°00'	54°44'
011	45°00'	90°00'	45°00'	0°00'	35°16'
111	54°44'	54°44'	54°44'	35°16'	0°00'
014	14°02'	90°00'	75°58'	30°58'	45°33'30''

Observación: Estas mediciones goniométricas se han realizado sobre cubos simples de boleíta. La crítica de los valores angulares publicados como referentes a formas de "pseudoboleíta", se hace más adelante al hablar de tales agregados cristalinos, teniéndolo como en su lugar más adecuado.

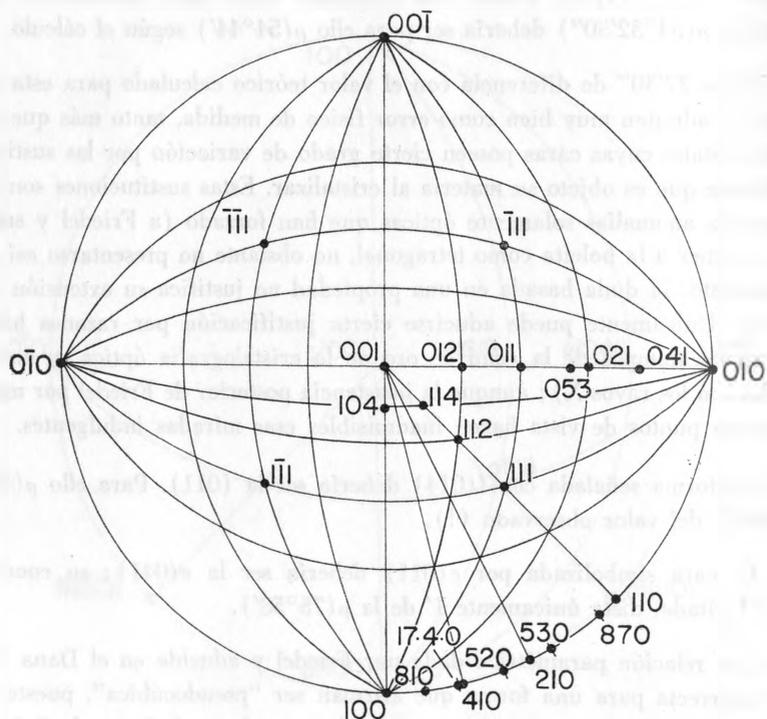


FIG. 11. Estereograma de las formas de boleíta citadas y observadas (Véase la tabla de sus respectivas coordenadas esféricas azimutales).

TABLA de coordenadas esféricas azimutales
Relación total de las caras observadas y citadas (lit.) de la

BOLEITA

Caras observadas	ρ	φ
001	0°00'	0°00'
010	90°00'	0°00'
100	90°00'	90°00'
111	54°44'	45°00'
100	90°00'	270°00'
010	90°00'	180°00'
111	54°44'	315°00'
111	54°44'	135°00'
111	54°44'	225°00'

Caras citadas
(bibliogr.)

110	90°00'	45°00'	Dana (1957)
011	45°00'	0°00'	"
041	75°58'	0°00'	"
114	19°28'30''	45°00'	Friedel (1906)
104	14°02'	90°00'	"
053	59°02'	0°00'	Mallard y Cumenge (1891)
021	63°26'	0°00'	"
012	26°34'	0°00'	"
210	90°00'	63°26'	"
112	35°16'	45°00'	Gossner y Arm (1929)
110	90°00'	75°58'	Hadding (1919)
810	90°00'	82°52'30''	"
520	90°00'	68°12'	"
530	90°00'	59°02'	"
540	90°00'	51°20'	"
870	90°00'	48°49'	"
17.4.0	90°00'	76°45'	"

NOTA: La tabla se ha formado a base de los valores angulares calculados. Incluye tanto las caras normales cuanto las debidas a enfoliaciones.

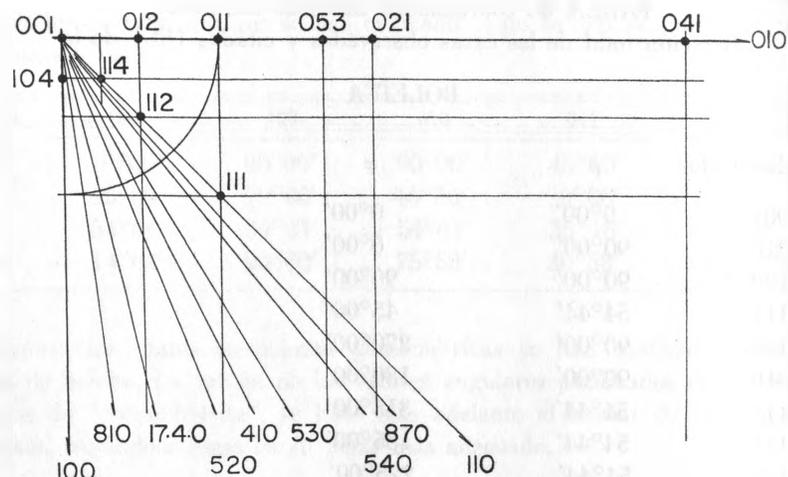


Fig. 12. Gnomonograma de las formas de boleíta citadas y observadas. Corresponde a la tabla de coordenadas esféricas azimutales.

COORDENADAS ESFERICAS BIPOLARES

Han sido calculadas estas coordenadas para el método de la tetragonometría:

Polos:	0, a(100)	0', b(010)	c(001)	d(102)	e(011)	f(053)
0, a(100)	0°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'
0', b(010)	90°00'	0°00'	90°00'	63°26'	45°00'	30°58'
g(021)	h(041)	i(104)	j(114)	k(112)	l(111)	m(110)
90°00'	90°00'	75°58'	75°58'	65°54'30''	54°44'	45°00'
26°34'	14°02'	90°00'	75°58'	65°54'30''	54°44'	45°00'
n(210)	o(410)	p(810)	q(520)	r(530)	s(870)	t(17.4.0)
26°34'	14°02'	7°07'30''	21°48'	30°58'	41°11'	13°15'
63°26'	75°58'	82°52'30''	68°12'	59°02'	48°49'	76°45'

INDICE DE BARKER

Carece de índice de Barker, dada su calidad de sustancia cúbica.

INDICE DE DONNAY

Cúb., $a_0 : 15'186$

A.—Dada la calidad cúbica de la boleíta, queda como índice de Donnay el parámetro de su celda elemental, que determinamos como

$$a_0 = 15'186 \text{ A}$$

B.—En las tablas de Donnay (1954) para la identificación de las sustancias cristalinas a base de sus dimensiones de celda, se hallan las siguientes citas para la boleíta:

CÚBICO

a

15'6 Cloruro de plomo e hidróxido cúprico (Boleíta), $\text{PbCl}_2\text{Cu}(\text{OH})_2$
Tetragonal pseudo-cúbica.

15'43 Oxiclорuro de plomo, plata y cobre (tetragonal)

$c : a = 4$. Pseudo cúbico. Azul.

$\text{Pb}_9\text{Cu}_8\text{Ag}_3\text{Cl}_{21}\text{O}_8 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ — $\text{Pm}\bar{3}m$, $Z = 3'00$ — P.esp.5'054(obs).

TETRAGONAL

c : a	a	c	gr.esp.	Z	gr.estruct.	Densidad
						obs. calc. MP
4'026	15'4	62	.....	12	.....	5'054 —

Boleíta, $\text{Pb}_9\text{Cu}_8\text{Ag}_3\text{Cl}_{21}\text{O}_8 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ (según los análisis de Friedel)

$c : a = 3'996$ (gon.). Maclada. Celda pseudo cúbica, según Gossner, con $Z = 3$ y $a = 15'40$

B.—Debería, por lo tanto, citarse como:

CÚBICO

a

15'186 Boleíta. $3 \text{PbCl}_2 \cdot 3 \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{AgCl} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$

Cúbica enantiomórfica. Azul marino; p.esp. 5'031 (obs).

$0^1 - P 43$; $Z = 8$

CRISTALES ARTIFICIALES:

Sol. Cu Cl_2 sobre $(\text{Ag}_2\text{O} + \text{Pb}(\text{OH})_2)$ ppdos.

Friedel preparó una mezcla de hidrato de plomo $\text{Pb}(\text{OH})_2$ y de óxido de plata Ag_2O precipitados, en mismas proporciones que las propias de la boleíta, y luego de añadir algo de arcilla desleída en agua, hizo actuar durante varios meses una solución de cobre Cu Cl_2 con la cantidad correspondiente de cloro y de cobre.

La reacción fue más lenta que para la cumengeíta. Por levigación separó cristales cúbicos azules de boleíta. (Friedel, 1894).

CRISTALES COMPLEJOS: MACLAS.

Permítasenos recordar aquí, por lo que luego se ha de tratar, que los agregados cristalinos regulares de una sola especie química pueden ser uniáxicos, biáxicos (= maclas) y triáxicos (= holoáxicos) según el número de direcciones axiales de ambos individuos en combinación, que tengan en coincidencia (o paralelismo).

Los agregados uniáxicos son las formaciones con una sola dirección en coincidencia; en los holoáxicos coinciden las tres direcciones para formar los agregados paralelos u holoáxicos, reservando el nombre de maclas para los agregados biáxicos.

En la boleíta se hallan principalmente agregados holoáxicos y biáxicos o maclas.

A. Agregados holoáxicos.

Friedel distingue tres variedades de cristales complejos en los que la boleíta se asocia a la que él tiene como pseudoboleíta, y a la cumengeíta (Friedel, 1906). En estos agregados se consideran dos tipos de cristales:

- a) Boleíta asociada a la pseudoboleíta sola.
- b) Aquellos en los que interviene además la cumengeíta.

a.—*Cristales de boleíta y pseudoboleíta.* Se parecen a los de boleíta: mismo color, brillo y forma cúbica dominante. Presentan siempre ángulos entrantes a lo largo de las aristas del cubo, limitados por caras casi paralelas a las (210) del cubo, y aún a las (100).

Tallada en láminas paralelas a las caras del cubo se ve en el microscopio que constan de 3 aureolas: las dos interiores idénticas a las de boleíta: la del centro es casi isotrópica y la interna se parece a la capa birrefringente de la boleíta. Su cruceo está a 14° de las caras del cubo. La capa externa es un poco más azul, más refringente y uniforme.

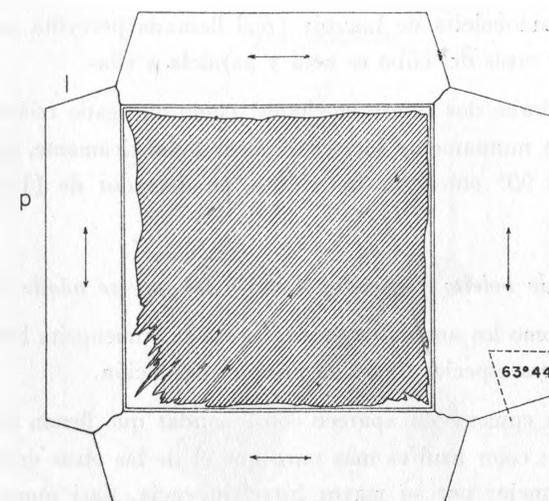


FIG. 13. Cristal complejo de boleíta y pseudoboleíta. Corte paralelo a (100). Interpretación según una microfotografía entre nicóles cruzados. El cubo de boleíta con su región central isotrópica; los epicrecimientos periféricos son de pseudoboleíta (Friedel, 1906; Mallard y Cumenge, 1891; Mallard, 1893).

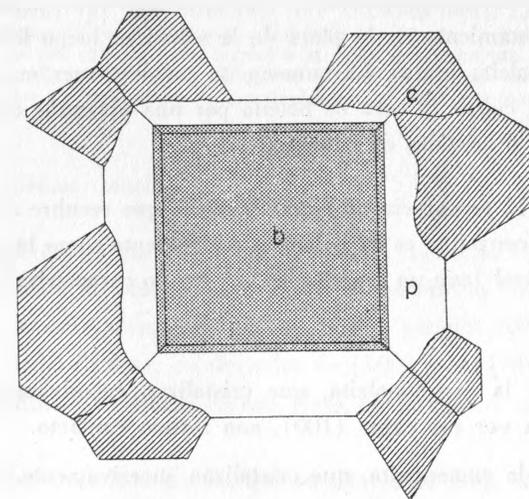


FIG. 14. Caso cuando el depósito de cumengeíta llega a desbordar de los surcos de pseudoboleíta. Al seguir creciendo sus formas propias, pueden llegar a unirse y recubrir el núcleo extraño sobre el que se apoyan. Los cristales aparecen como totalmente de cumengeíta.

Esta es la pseudoboleíta de Lacroix (mal llamada percyilita por Mallard). La separación con las caras del cubo es neta y paralela a ellas.

Esta forma admite dos interpretaciones: como agregado triáxico de cubos de boleíta que asocian mutuamente intercruzándose holoáxicamente, o bien como una macla con giro de 90° entre sus individuos, en derredor de $[100]$ y de $[010]$. (Friedel, 1930).

b.—*Cristales de boleíta y pseudoboleíta, a los que se añade cumengeíta.*

En cristales como los antes descritos, aparece la cumengeíta llenando los ángulos entrantes: las tres especies tienen la misma orientación.

En general, la cumengeíta aparece como bandas que llenan los surcos de las aristas del cubo: su color azul es más puro que el de las otras dos especies. Entre nícoles, se separa mejor por su mayor birrefringencia. Casi nunca penetra hasta estar en contacto con la boleíta; sino que entre ambas se interpone la pseudoboleíta.

Este grupo de boleíta-pseudoboleíta-cumengeíta tiene tendencia a la orientación paralela de sus miembros.

Por la forma de la agrupación se puede colegir que primero cristaliza la boleíta hasta el agotamiento de la plata de la solución, luego lo hacen la cumengeíta y la pseudoboleíta juntas. La cumengeíta puede crecer más y desbordar su surco para llegar a cubrir la cara de boleíta por una pirámide de aquella; resulta una agrupación de 6 cristales de cumengeíta.

c.—En la fig. 15 se aprecia un estrato externo que recubre a la pseudoboleíta, más no así a la cumengeíta: es de boleíta birrefringente como la que alberga a su núcleo isótropo central (con un crucero de 14° que lo caracteriza).

En resumen:

— la boleíta y la pseudoboleíta, que cristalizan sucesivamente, se adhieren en posición paralela por sus caras (100) , con íntimo contacto.

— la boleíta y la cumengeíta, que cristalizan sucesivamente, se adhieren sólo por sus caras (001) en contacto poco coherente.

— la pseudoboleíta y la cumengeíta, que cristalizan simultáneamente, se yuxtaponen en asociaciones paralelas, aunque no es posible distinguir por qué caras.

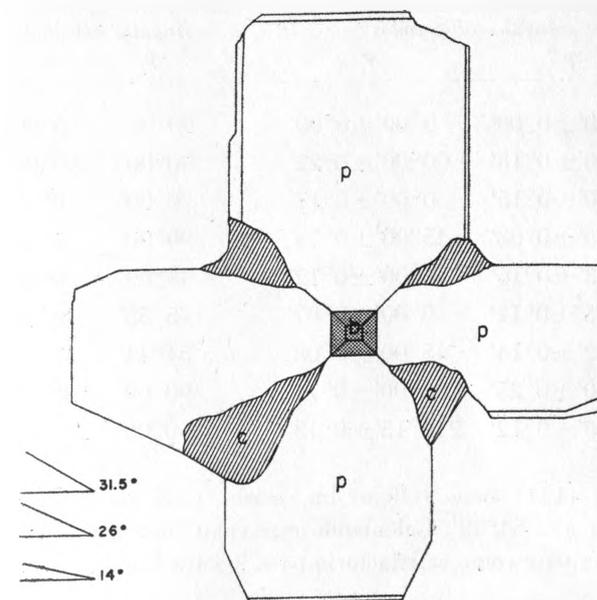


FIG. 15. Cristales complejos de boleíta (b) y de pseudoboleíta (p), con cumengeíta (c) (Friedel, 1906). La cumengeíta suele aparecer rellenando los surcos de las aristas del cubo, y como corroyendo sobre pseudoboleíta. Esta puede presentar por doquier o sólo en parte, una cubierta externa, que nunca se la ve rodear a las otras dos especies.

B. *Agregados biáxicos: maclas.*

1. Los primeros autores (Mallard, Cumenge..., etc.), no describen ninguna macla entre los cubos de boleíta. El primero en hacerlo es Gossner (1928) quien observa maclas de estrechamiento de dos cubos, girados 90° por la diagonal de cara, o según Friedel (1930), en derredor de $[100]$ y de $[010]$.

Nosotros medimos 3 cristales de esta clase, efectuando 6 mediciones sobre cada uno de ellos.

Los datos goniométricos son los que se dan en la tabla siguiente.

Observaciones resultantes de la medición:

a). Las caras (100) y (010) presentan ligera ondulación: se aprecia en ellas una gradación de reflejos goniométricos.

No.	Angulos observados		Angulos calculados		Símbolos
	ρ	φ	ρ	φ	
1	90°00'±0°00'	0°00'±0°00'	90°00'	0°00'	010
2	90°00'±0°18'	90°00'±0°22'	90°00'	90°00'	100
3	0°00'±0°15'	0°00'±0°17'	0°00'	0°00'	001
4	90°00'±0°08'	45°00'±0°13'	90°00'	45°00'	110
5	45°03'±0°16'	0°00'±0°12'	45°00'	0°00'	011
6	75°55'±0°12'	0°00'±0°07'	75°58'	0°00'	041
7	54°42'±0°14'	45°00'±0°08'	54°44'	45°00'	111
8	90°00'±0°25'	180°00'±0°11'	90°00'	180°00'	010
9	90°00'±0°12'	270°15'±0°18'	90°00'	270°00'	100

b). La cara (111) tiene reflejos imprecisos, cuya media de 6 observaciones da la coordenada $\rho = 54^\circ 42'$. Calculando este valor, debería dar el de $54^\circ 44'$, por lo cual puede admitirse como satisfactorio para la cara fundamental.

c). Vueltos a examinar luego de un tiempo los cristales medidos, se encontraron algo deteriorados por transportarlos sin protección mutua y dada su blandura, el roce de uno con otro hizo perder su visibilidad a las caras menos extensas. Fue imposible repetir todas las mediciones anteriores.

d). Comparando nuestras apreciaciones con las de Friedel (1906), expuestas por Dana's System (1957) en su tabla, se hacen pertinentes las observaciones análogas a las expuestas en las tablas goniométricas de páginas anteriores, y que se sintetizan en la comparación siguiente:

Formas atribuidas	Valores citados (Dana, 1957)		Valores corregidos	
	ρ	φ	ρ debería ser	Formas preferibles
c(001)	0°00'	.....	0°00'	c(001)
a(010)	90°00'	0°00'	90°00'	a(010)
m(110)	90°00'	45°00'	90°00'	m(110)
e(011)	63°41'30"	0°00'	63°26'	e(021)
o(112)	55°02'30"	45°00'	54°44'	o(111)

a). Es difícil querer forzar la simetría de un mineral tan patentemente cúbico, convirtiéndolo en tetragonal (Friedel, 1906), con el solo objeto de querer mantener

un parecer antiguo que no se quiere contradecir, bajo la excusa de que así lo aseveran "todas las evidencias"(?).

b). Las dos formas en litigio son las e(011) y o(112), que a nuestro parecer deberían ser las e(021) y o(111), respectivamente:

En efecto.

b-1) para que sea o(111) su valor calculado de $\rho = 54^\circ 44'$ dista sólo 18'30" del observado.

b-2) para que sea e(021) su valor calculado de $\rho = 63^\circ 26'$ dista 15'30" del observado.

diferencias ambas que pueden admitirse muy bien como errores que además de dar una forma cúbica sencilla y sin forzar las apariencias morfológicas, son bien explicables por las imprecisiones de los reflejos y por las sustituciones isomorfas que originan sus anomalías ópticas (V.).

e). Los ángulos interfaciales son los siguientes: que corrigen en parte a los expuestos por el Dana's System (1957):

Formas	001	100	010	011	111
001	0°00'	90°00'	90°00'	45°00'	54°44'
010	90°00'	90°00'	0°00'	45°00'	54°44'
110	90°00'	45°00'	45°00'	54°44'	35°16'
021	63°26'	90°00'	26°34'	18°27'	39°14'30"
111	54°44'	54°44'	54°44'	35°16'	0°00'

2. Entre los ejemplares que hemos estudiado se presentan algunos con maclas de penetración, de los cuales se acompañan sendas proyecciones ciclográficas, construidas a base de sus mediciones goniométricas.

Se trata de cubos entre los que se aprecia una penetración parcial de cubos sencillos de boleita: tres, que se esquematizan en la fig. 16 y cuyas proyecciones ciclográficas se representan en las figs. 17 y 18, respectivamente, A, B y C.

Los cubos mayores, de base, forman la proyección ecuatorial; los menores se representan por los triángulos esféricos trirrectángulos. Estos cubos podrían considerarse como en contacto sobre las caras (041) el A, (114) el B, y (053) el C del de base correspondiente.

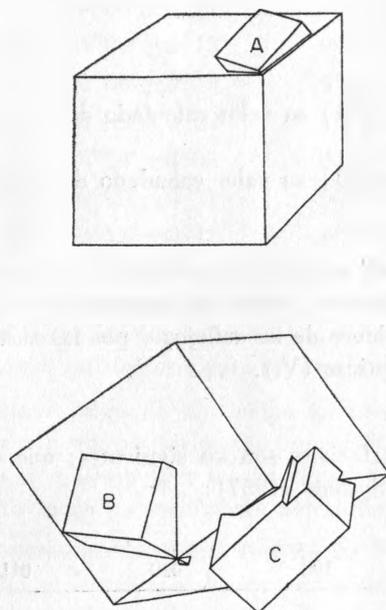


FIG. 16. Esquema del aspecto de tres maclas de penetración observadas en los cubos de boleíta, para explicar las figuras 17 y 18, a las que corresponden respectivamente.

C. Anatomía de un cubo de boleíta, según Gossner y Arm (1930):

Nos concretamos a citar la traducción literal de la idea de estos autores: "La red cúbica isótropa de boleíta forma la masa principal del núcleo del cubo. Paralelo a las caras (100) está un estrato de la forma pseudocúbica, no macla (sino agregado holoáxico); la base (001) es paralela a una cara del cubo (001) y luego se hallan las caras estrechas del prisma [100] paralelas a las caras del cubo (100) y (010). Así resulta una especie de excavación paralela a las aristas del

cubo. Las caras estrechas, inclinadas, serán luego las formas tetragonales 201. Estos crecimientos de las distintas especies de individuos de boleíta, de boleíta cúbica con la llamada pseudobleíta, tienen una semejanza extraordinaria con el crecimiento de boleíta y cumengeíta, aunque diferente de ella".

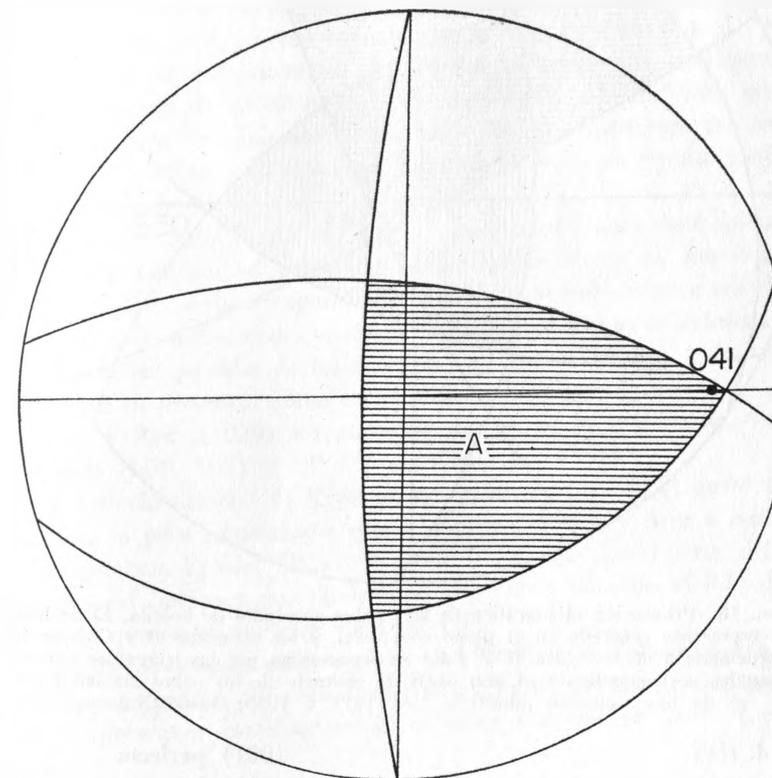


FIG. 17. Proyección ciclográfica de una macla de penetración, que se observa entre dos cubos de boleíta. El cubo mayor, de base, se representa centrado en su plano ecuatorial; el menor A (Esquemático en la Fig. 16 A) representase por el triángulo rayado. El cubo maclado puede considerarse como apoyado sobre la cara (041) del de base.

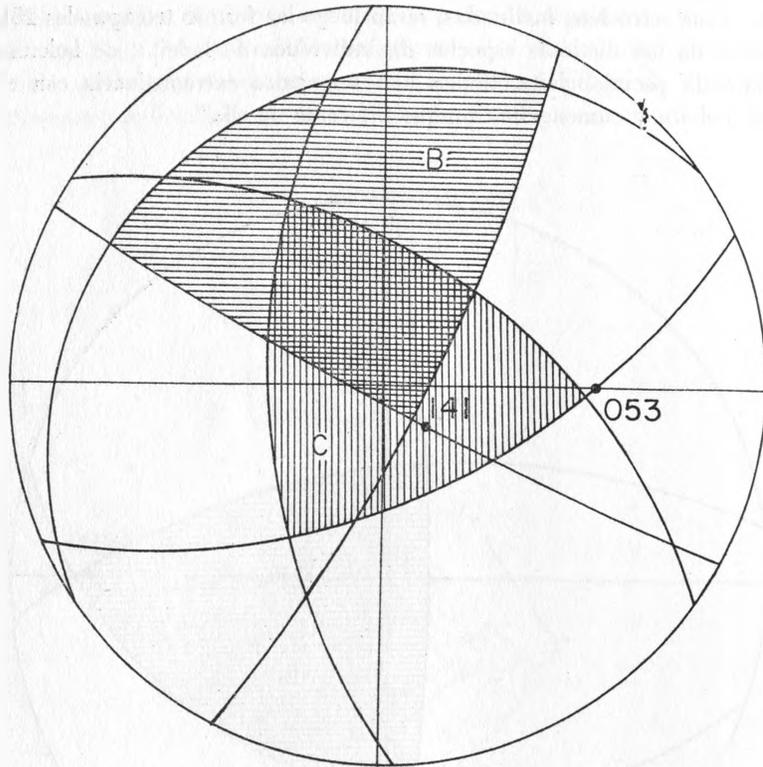


FIG. 18. Proyección ciclográfica de tres cubos maclados de boleíta. El de base se representa centrado en el plano ecuatorial, y los otros dos B y C (que se esquematizan en la figura 16 B y C) se representan por los triángulos trirectángulos correspondientes. Como caras de contacto de los cubos maclados con el de base, pueden admitirse las (141) y (053) respectivamente.

EXFOLIACION:

- (001) perfecta
- (410) buena
- (101) buena
- (100) pobre

Tiene dos tipos de planos de exfoliación:

a) unos paralelos a las caras del cubo (dan reflejos goniométricos, aunque no las señales precisas). Según Palache (et al, en Dana, 1957) este tipo de exfoliaciones sería

- perfecta (001)
- buena (101)
- pobre (100)

b) los otros forman ángulo agudo con las caras del cubo (de $14^{\circ}07' \pm 0^{\circ}39'$) y son indudablemente los observados por Friedel. Estos planos son bastante grandes

y muy brillantes, aunque sólo den como los otros, señales goniométricas imprecisas. (Hadding, 1919).

Según Mallard y Cumenge, la exfoliación es muy neta y fácil en caras paralelas a las del cubo; menos perfecta según el octaedro. (Mallard y Cumenge, 1891). (Liversidge, 1894).

Friedel se decide por el carácter tetragonal de la boleíta al observar en ésta un plano de exfoliación (410) paralelo a una arista del cubo, y con una inclinación que determinó en $14^{\circ}2'$, lo cual correspondería a una relación de 1 : 4. Sometido luego ese plano de exfoliación a mediciones goniométricas más precisas, halló formaba un ángulo de $14^{\circ}3'$ deduciendo la relación de 1 : 3'946, atribuyéndola Friedel a una cara de pirámide tetragonal. (Nótese el distingio tan sutil de este autor al querer precisar con aproximaciones menores de un minuto mediante reflejos no bien definidos).

Subraya este autor el que no observándose tales planos de exfoliación (410) en los cristales cúbicos, su presencia en la boleíta ofrece un nuevo apoyo a su hipótesis: la boleíta sería tetragonal y no cúbica cual inducirían a creerlo así todas las apariencias. De todos modos, es claro que aún esos planos de exfoliación, aunque raros, son también posibles en los cristales del sistema cúbico, y de ningún modo podrá tomarse su presencia como criterio de exclusión.

Gossner y Arm (1929) no pudieron demostrar la exfoliación según (h01), con el ángulo $(h01 : 100) = 14^{\circ}3'$ preconizada por Friedel.

En el artículo del Zeit F. Kryst se lee erróneamente $14^{\circ}4'$, quizá debido a la imprenta o a la poca importancia que le dieron Gossner y Arm a ese valor cuya existencia negaban. Friedel (1930) contesta indignado por el error del minuto, y defiende sus exfoliaciones excusándose por no poder hacerlas visibles fotográficamente puesto que no se aprecian bien así (!).

En dos de los cristales cúbicos vistos por Hadding se halla truncada una arista del cubo y se presentan allí caras brillantes, aunque goniométricamente poco discernibles: representan caras estrechas en zona con las del cubo y que corresponden a:

Diedro	Calc.	Observ.
(100 : 810)	$7^{\circ}08'$	$6^{\circ}58'$
: 17,4.0)	$13^{\circ}15'$	$13^{\circ}18'$
: 410)	$14^{\circ}02'$	$14^{\circ}07'$
: 520)	$21^{\circ}48'$	$21^{\circ}51'$
: 530)	$30^{\circ}58'$	$31^{\circ}09'$
: 540)	$38^{\circ}40'$	$38^{\circ}44'$
: 870)	$41^{\circ}11'$	$41^{\circ}08'$

siendo la mayoría de reflejos débiles y determinados con poca exactitud. No pueden tenerse como propiamente de exfoliación, dada su estrechez (Hadding, 1919).

Los ángulos medidos no satisfacen al carácter tetragonal de la boleíta y bajo ningún concepto pueden fundamentar una determinación exacta de la relación paramétrica. (Hadding, 1919).

PROPIEDADES OPTICAS:

Monorrefringente. La textura interna compleja de los cristales, debida probablemente a tensiones provocadas por sustituciones isomorfas, es causa de ciertas anomalías ópticas, no discernibles röntgenológicamente.

A.—Se trata de un mineral morfológicamente cúbico, cuyas anomalías ópticas llevaron a Mallard y a Cumenge (Hadding, 1919) a tenerlo por tetragonal pseudocúbico.

El interior ópticamente isótropo; su borde es birrefringente uniáxico (Friedel, 1930).

Los cristales aparecen sencillos exteriormente, mas en general zonales en luz polarizada, al observarlos en secciones delgadas, o bien a simple vista haciendo reflejar la luz sobre una cara de exfoliación o desgastada por frotamiento. (Friedel, 1906).

La parte central de los cubos se ve en el microscopio como isótropa. En ella se observan casi siempre partículas birrefringentes. Estas se limitan a veces a la parte más externa del cristal y se disponen allí paralelas a una o a varias zonas del cubo, o bien atraviesan como rayos a la parte isótropa (Hadding, 1919).

Esas isotropía y anisotropía se explican por una textura compleja. Los diagramas de rayos X de posiciones diversas del ejemplar, no presentan diferencia alguna (Gossner, 1928).

B.—Según los primeros autores (Mallard y Cumenge, 1891a), las preparaciones microscópicas (secciones delgadas) paralelas a las caras del cubo, presentan en el microscopio polarizante, una parte central monorrefringente bordeada por bandas birrefringentes. Estas tienen extinción recta, con el índice menor en dirección perpendicular a la arista correspondiente a la banda. Las bandas adyacentes tienen sus secciones principales correspondientes, mutuamente perpendiculares y que se yuxtaponen según las diagonales del cuadrado.

De tallar la preparación en una lámina desprendida de la superficie natural del cubo, su centro pertenece también a la envuelta birrefringente; sin embargo,

observada mediante luz paralela, la parte central se halla como monorrefringente; en luz convergente aparecen los anillos y la cruz negra de un cristal uniáxico negativo muy birrefringente.

A menudo, esta parte cristalina birrefringente, queda atravesada por bandas monorrefringentes, paralelas a las caras del cubo. La parte birrefringente llega hasta distancias muy variables del centro.

Acontece que la parte central, en vez de ser enteramente monorrefringente, es más o menos birrefringente. En las secciones paralelas a las caras, se ve disminuir la birrefringencia (de un modo muy irregular) desde la circunferencia hacia el centro.

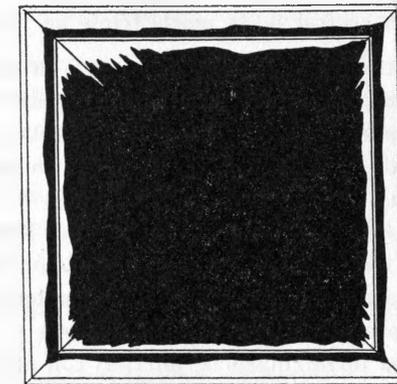


FIG. 19. Boleíta. Cristal cúbico cuyo centro presenta fibras con débil birrefringencia y con doble envuelta birrefringente. Según la interpretación de Friedel, basada en una microfotografía de preparación de Lacroix. Nícoles cruzados (Friedel, 1906).

Friedel (Friedel, 1906), da una buena representación de esta birrefringencia de la boleíta y procura aclararla. Se decide por la teoría de Mallard (Wallerant, 1898) sobre las anomalías ópticas en cristales regulares (según las investigaciones de Brauns (Neues Jahrb. Mineralogie 2 (1882) 109) que expone las condiciones de las anomalías ópticas en cristales mixtos, y expresa su idea de que la boleíta no fuese un cristal sencillo sino una macla de tres individuos, del modo antes citado. Afirma Friedel que las partes isótropas obedecerían a la interpenetración de los diferentes individuos. Se trataría aquí de una compensación.

C.—En síntesis (Hadding, 1919), tanto en la boleíta cuanto en los cristales mixtos de Brauns, las partes birrefringentes se disponen:

a) parte en capas paralelas a las caras del cristal, de birrefringencia regularmente fuerte,

b) parte en líneas onduladas y radiantes.

Las regiones birrefringentes alternan regularmente con las otras, siendo mayor la birrefringencia en las zonas externas del cristal y menor en el núcleo. Este es isótropo en su mayoría.

D.—Friedel particulariza más en la descripción de las aureolas zonales (aunque miradas desde su idea central de la macla triple de individuos tetragonales):

Zona central casi isótropa, mas entre nícoles se ven manchas o fibras débilmente birrefringentes, paralelas o diagonales a las caras del cubo (en lámina paralela a ellas). Todas tienen extinción paralela a las aristas del cubo. Esta quasi-isotropía es el resultado de elementos birrefringentes en posición trirrectangular (como el caso de la leucita).

La zona externa, del mismo color que la central, es birrefringente y uniaxial negativa: se compone de tres orientaciones en disposición trirrectangular de una sustancia tetragonal (con sendos ejes paralelos a los cuaternarios del cubo y cuya base se aplica sobre las caras del mismo: esta cubierta está formada por capas zonales sucesivas de diversa birrefringencia, alternas con otras isótropas, y a veces por una zona birrefringente uniforme.

La parte central isótropa está más desarrollada que la zona periférica: ésta no falta casi nunca en cristales cúbicos; en los cubo-octaedros es de bandas muy poco birrefringentes y poco homogéneas, paralelas a las caras del cubo, e interrumpidas por las del octaedro o del rombododecaedro.

El contacto entre ambas zonas es ondulado o dentado.

La materia anisótropa de las tres pirámides tetragonales se funde en el centro para formar el núcleo isótropo.

La zona externa tiene exfoliación basal paralela a las caras del cubo, exfoliación paralela a las aristas del cubo y formando un ángulo de $14^{\circ}3'$ con la cara contigua (media de 11 mediciones). Esta esquirla de exfoliación no se prolonga hasta el borde del cristal sino que se detiene en el límite de su zona externa (Friedel, 1906).

En síntesis, para explicar ese comportamiento óptico tan extraño en una sustancia cúbica, se ha recurrido a varias hipótesis:

a). *Anomalías ópticas zonales*, que suelen verse en cristales cúbicos: el centro del cristal es isótropo cúbico; es rodeado y penetrado por zonas anisótropas tetragonales. Hipótesis de Friedel (1906), que luego abandona (Friedel, 1930).

b). *Cristales mixtos*. Hipótesis de Hadding (1919), aplicando las teorías de Brauns a este respecto.

c). *Macla mimética* de individuos tetragonales (Friedel, 1906) cuyo efecto es el de elevar el grado de simetría de los componentes: el conjunto es aparentemente cúbico. En 1930, y para contradecir las investigaciones de Gossner y Arm, afianza categóricamente su idea proclamando que las zonas isótropas centrales se deben al entrecruzamiento de individuos tetragonales, en calidad de partículas submicroscópicas. No tuvo desgraciadamente en cuenta la nitidez de los radiogramas, que se opone a esa distribución estadística de partículas.

d). *Sustituciones isomorfas*, hipótesis de Gossner y Arm (1928, 1930). La boleíta es cúbica, y sus aureolas birrefringentes se deben a las tensiones provocadas en la estructura por las sustituciones isomorfas de los cationes de Ag al Pb (1928), de los de Ag y Pb al Cu (1930), traduciéndose en pequeñas perturbaciones en la ordenación del gran número de átomos que comporta. Esta explicación es más general y satisface tanto a las observaciones morfológicas cuanto a los datos röntgenológicos.

e). *Polarización rotatoria*. Dada la clase enantiomórfica a la que se atribuye pertenecer la boleíta en esta memoria, no cabría atribuir la iluminación del campo óptico a cierto fenómeno de polarización rotatoria?

INDICE DE REFRACCION

$$n = 2'06$$

A. Índice de refracción experimental:

No se cita con precisión en la primera publicación sobre boleíta, sino de una manera aproximada como $n = 2'07$, que Mallard confirma posteriormente (Mallard, 1893a).

Hadding talló unos prismas paralelos a las caras del cubo (Hadding, 1919), encontrando valores obtenidos entre:

$$n = 2'081 \pm 0'001 \quad \text{y} \quad n = 2'087 \pm 0'008$$

en las diferentes aureolas del cristal zonal. (Téngase en cuenta que las secciones paralelas a las caras del cubo muestran un núcleo isótropo limitado por un borde birrefringente).

Dana (1957) desde el punto de vista que apoya, de una boleíta tetragonal, cita los índices de Larsen (1921)

$$\omega = 2'05 \pm 0'02$$

$$\varepsilon = 2'03 \pm 0'02$$

correspondiendo a un cristal ópticamente uniaxial negativo (—).

También para Waldo (1935), citado en las tarjetas de la A.S.T.M., la boleíta es tetragonal, cuya indicatriz óptica tendría,

$$\alpha = 2'03$$

$$\rho = 2'04 - 2'09$$

La uniformidad de todas estas determinaciones, así como la simetría de la dispersión de sus valores con respecto a uno medio, señalan como un posible índice de refracción, aunque no real, para una boleíta cúbica, el de

$$n = 2'07 \quad (\text{Mallard, 1893})$$

$$2'084 \quad (\text{Hadding, 1919})$$

$$2'04 \quad (\text{Larsen, 1921})$$

$$2'06 \quad (\text{Waldo, 1935})$$

cuyo promedio es de $n = 2'063$.

Nuestras determinaciones han dado $n = 2'06$.

B. Índice de refracción calculado:

Para calcular la refracción molecular empleamos la ecuación de Lorentz-Lorenz:

$$\frac{M}{d} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = R = \Sigma \Delta I$$

en donde:

M = peso molecular de la sustancia

d = su densidad

n = índice de refracción

R = refracción molecular, que a su vez es la suma de todos los incrementos de refracciones iónicas $\Sigma \Delta I$.

Luego, para la fórmula $3 \text{PbCl}_2 \cdot 3 \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{AgCl} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ (Gossner y Arm, 1929), cuyo $M = 1324'48$, con $Z = 8$ moléculas por celda elemental, $d = 5'0228$ calc., resulta

Iones	Incrementos de ref. ión.	Totales
Pb	10'4	31'20
Ag	5'1	5'1
Cu	1'8	5'4
O	4'1	12'3
H ₂ O	3'8	22'8
Cl	8'2	57'4
		R = 134'20

y en las 8 moléculas de la celda elemental, 1073'60.

De la ecuación anterior, resulta:

a) Con base a la densidad observada, $d_{\text{obs}} = 5'031$:

$$n = \sqrt{\frac{M + 2dR}{M - dR}} = \sqrt{\frac{10595'84 + 10802'56}{10595'84 - 5401'28}} = \sqrt{4'119386} = 2'0296$$

b) Con base sobre la densidad calculada, $d_{\text{calc}} = 5'0228$:

$$n = \sqrt{\frac{10595'84 + 10784'94}{10595'84 - 5392'47}} = \sqrt{4'10902} = 2'0271$$

Luego, el índice de refracción es

$$n = 2'0283 \pm 0'0012$$

NOTA: No es de extrañar este valor calculado para el índice de refracción, algo distante en apariencia del observado; si bien coincide con uno de los determinados por Waldo (1935). Hay causas que afectan estas valoraciones y que impiden expresar una coincidencia más aproximada:

a) El índice observado no puede ser determinado con exactitud por las condiciones ópticamente anómalas del cristal, ya citadas.

b) El índice calculado se basa en las refracciones iónicas generalmente admitidas, mas no se pueden tener en cuenta sus variaciones debidas a los complejos formados: en particular, tratándose del agua, se ha calculado con las moléculas expuestas en la fórmula, mas parte de ella (Más o menos) se encuentra formando hidrato con el Cu.

BIRREFRINGENCIA DE LAS ANOMALIAS OPTICAS

$$\Delta = 0'017$$

Friedel aprecia una birrefringencia de $\Delta = 0'020$ en las capas externas del cristal, llegando hasta $0'032$ en la zona llamada de pseudoboleíta (Friedel, 1930), que se hace notar precisamente por este carácter. Lacroix (1905) admite para estos valores unos límites de oscilación entre $0'010$ y $0'038$.

No siendo uniforme en todos los puntos, se la puede admitir oscilante entre $0'015$ y $0'025$, con una media razonable de $0'017$ que es localizable en los cristales cúbicos simples cerca de la banda más birrefringente.

Esta birrefringencia correspondería a la de una materia uniáxica negativa.

Mallard (1893) cita una observación curiosa, que le permitió distinguir entre los estratos exteriores de la boleíta y las formas piramidales de cumengeíta yuxtapuestas en asociación con aquella, y ello aun cuando hubieren sido reducidas por el desarrollo de un pinacoide (001). Tallando láminas perpendiculares a los ejes de ambas especies, exactamente del mismo espesor (para lo cual se colocan ambas sobre el mismo vidrio de tallado), se observa con luz polarizada convergente que el primer anillo de cumengeíta es notablemente más pequeño que el correspondiente de la boleíta (relación de los radios como 2 : 3). La birrefringencia de la cumengeíta es notablemente mayor.

DIAFANIDAD:

Traslúcido

Los cristales macroscópicos son opacos; translúcidos en sus bordes y esquirlas. Las secciones micrográficas delgadas son transparentes.

COLOR:

Azul

Color no metálico; azul verdoso claro por transparencia y azul marino oscuro, casi negruzco, por reflexión.

Raya y polvo: azul verdoso claro

No pleocroico.

BRILLO:

Vítreo

Débilmente vítreo. Para Liversidge (1894), fuertemente vítreo.

Perlado (casi nacarado característico) en las caras de exfoliación. (Friedel, 1906).

LUMINISCENCIA:

Examinando el mineral con luz ultravioleta, no presenta fluorescencia ni fosforescencia. Es notable la gran absorción con respecto a las radiaciones de onda corta: el cristal toma una tonalidad negra más profunda.

ABSORCION

$$\mu = 90369.112 \text{ cms}^{-1}$$

Su coeficiente de absorción lineal μ , a base de los respectivos coeficientes de absorción masiva de sus componentes es

$$\mu = d \sum p \left(\frac{\mu}{\rho} \right)$$

$d = 5.0228$, densidad calculada

p porcentajes analíticos de sus elementos $3 \text{ PbCl}_2 \cdot 3 \text{ Cu(OH)}_2 \cdot \text{AgCl} \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$

$\frac{\mu}{\rho}$ coeficiente de absorción masiva para la radiación de la onda $\text{CuK}\alpha$

		$\frac{\mu}{\rho}$	$p \frac{\mu}{\rho}$
Pb	57.215 %	241.0	13788.815
Cu	17.544	52.7	924.568
Ag	9.929	223.0	2214.167
Cl	9.788	103.0	1008.164
O	4.417	12.7	56.095
H	1.104	—	—
	99.997 %		17991.78 = $\sum p \left(\frac{\mu}{\rho} \right)$

$$\mu = 5.0228 \cdot 17991.78 = 90369.112 \text{ cms}^{-1}$$

PESO ESPECIFICO:

p. exp. = 5'031

a) Densidad observada:

Ha sido determinada por los procedimientos ordinarios obteniéndose valores diversos: (Hadding, 1919):

Autor	Peso absoluto	Peso específico
Mallard, (1891)	—	5'08
Beaugrand, (1894)	—	—
Friedel, (1894) 5 cristales	1'3185	5'054
Gossner, (1928)	—	5'054
Lacroix, (1895)	—	5'254
Gossner y Arm, (1930)	1'0482	5'185 } 5'188 5'189
Gossner y Arm, (1929)	1'4286	5'191 } 5'187 5'186
Liverisidge, (1894)	—	—
Hintze, (1915)	—	5'02
Hadding, (1919) 3 cristales	2'8374 1'2740 1'0672	5'155 } 4'978 4'977 4'802

Gossner (1928) admite la densidad de 5'054 determinada por Friedel.

Se aprecia por la tabla que el peso específico aumenta con el absoluto. De esta observación se podría concluir que la parte externa (birrefringente) del cristal tuviese un peso específico mayor que el de la parte interna. Ello se explicaría si se considerase a la boleíta como cristal mixto: el núcleo más ligero podría tener quizás

un mayor contenido de plata, mientras que en la capa externa, más pesada, se hallaría un mayor contenido de plomo. Prueba de esta distribución catiónica sería tal vez el que el AgCl es menos soluble que el PbCl₂, y en un cristal mixto se forma siempre primero la parte menos soluble (Hadding, 1919): la cristalización se efectuaría por modo de precipitación fraccionada al alcanzar los componentes sus respectivos límites de solubilidad y obedeciendo a la formación de los anillos de Liesegang.

En este Instituto de Geología tuvo Schmitter empeño por determinar la densidad de la boleíta mediante la balanza de torsión de Berman. Efectuó diversas pesadas, hallando diversas densidades para cristales de pesos absolutos diferentes, con lo cual se confirma la observación de Hadding, ya citada.

Tomando la media armónica de varios cristales que se experimentaron, y cuyo peso oscilaba entre 50 y 90 mgrs., llegamos a determinar

$$d = 5'031$$

b) Densidad calculada.

Dana (1957) la cita como de 5'05.

Repitiendo nosotros las operaciones y teniendo en cuenta la fórmula VI (pág. 64) de Gossner y Arm (1919), que hemos elegido como la más conveniente por las razones citadas en su lugar, nos resulta a partir de

$$V_m = \frac{P_m}{d \cdot N}$$

Con $z = 8$ que se determina más adelante, se recalcula el volumen molecular $V_m = 437'764$, y de allí la densidad teórica:

$$d = \frac{P_m}{V_m N} = \frac{1324'48}{437'764 \cdot 0'60236 \cdot 10^{24}} = \frac{1324'48}{263'69152} =$$

$$d = 5'02283$$

DUREZA:

$$D = 3'5$$

La mayoría de los autores asienten con el parecer de los primeros (Mallard y Cumenge) en asignar a estos cristales una dureza "algo superior a la de la cal-cita" (3, de la escala de Mohs), tanto en sus caras cúbicas cuanto en las octaédricas (Hadding, 1919). Esta determinación empírica ha sido confirmada (F).

PROPIEDADES QUIMICAS:

Insolubles en agua; solubles en HNO_3 .

Funden a la llama de una vela.

En tubo cerrado: decrepita, sufre una fusión acuea primero, y al perder agua la materia se dilata y se vuelve negra, si se prosigue el calentamiento. Las masas adheridas al vidrio toman tonalidades azulmarinas. (Mallard y Cumenge, 1891). Deja un ligero sublimado (Liversidge, 1894).

En el carbón, funde con desprendimiento de humos blancos, y se incrusta, dejando glóbulos de cobre y de plomo.

Llama verde clara. (Liversidge, 1894).

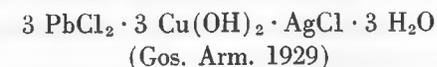
MINERALES ANALOGOS:

La boleíta tiene mucha semejanza con la cumengeíta (con la cual forma agregados holoácicos) hasta tal punto que ha llegado a tenerse como idéntica a aquella. Su diferencia externa radica en el hábito cristalino con el que aparecen ambos minerales:

- la boleíta forma cubos sencillos; algunos maclados por penetración, y otros en forma de agregados holoácicos con aspecto de cruz con brazos muy cortos. Estos agregados se ven cristalográficamente como placas opuestas a las caras del cubo, y se llegaron a tener como de una especie mineral diferente (pseudoboleíta). En páginas anteriores se hizo notar cómo Mallard (1891) tuvo a la parte designada como pseudoboleíta, como percylyta, y por su composición, muy semejante a la laurionita y a la atacamita.
- la cumengeíta tiene hábito bipiramidal, con aspecto de cristales bipolares según un eje o según los tres ejes del cubo de boleíta sobre el que se interpreta como intercrecimiento.

Los ejemplares de boleíta enviados desde Australia por McKay a Liversidge para su estudio, fueron tenidos por el remitente como de azurita (Liversidge, 1894). Suponemos que esta apreciación se refirió sólo a su color, ya que la azurita es monoclinica holoédrica.

Son también de color azul oscuro y raya azul, la arfvedsonita, lasurita, linarita y en parte vivianita; más todas ellas monoclinicas con excepción de la isométrica lasurita cuya dureza de 5'5 es muy diferente de la propia de la boleíta.

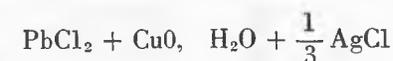
COMPOSICION QUIMICA:

Es imposible determinar químicamente las diferencias de composición entre ambas partes de la boleíta. Los análisis efectuados la confirmaron como cristal mixto. (Hadding, 1919).

A.—El análisis presentado por Mallard y Cumenge dio los siguientes resultados:

	I	II	Calc.
Plata	8'85	8'70	8'50
Cobre	13'95	14'50	15'00
Plomo	48'45	49'75	48'90
Cloro	19'98	19'00	19'55
Agua	4'77	4'00	4'28
Oxig. (difer)	4'00	4'05	3'77
	100'00	100'00	100'00

de los que deducen la fórmula



que es preferible en forma de

$3 [\text{PbCl}(\text{HO}), \text{CuCl}(\text{HO})] + \text{AgCl}$ (Mallard y Cumenge, 1891a) y que notan parecida a la de la laurionita $\text{PbCl}(\text{HO})$ y a la de atacamita $\text{CuCl}(\text{HO}) \cdot \text{Cu}(\text{HO})_2$. (Mallard y Cumenge, 1891b).

Mallard (op. cit., 1891a y 1891b), tiene un empeño particular por aproximar los cristales de boleíta a los de percylyta, descubiertos por Brooke en Sonora, y no obstante admitir ambas especies como idénticas, conserva el nombre de la primera para esa su variedad argentífera: la boleíta.

B.—Beaugrand (1894) expone ante la Soc. Geol. de Normandie unos resultados de análisis que coinciden exactamente con los citados por Mallard y Cumenge (!): según él, el I fue efectuado por Jacomety y el II por Diguet, químico de El Boleo.

C.—Al presentar Liversidge (1894) su ejemplar de boleíta de Broken Hill. cita los análisis de Carmichael y de Armstrong, poniéndolo en un cuadro comparativo con los anteriores.

Plata	8'25	
Plomo	47'20	
Cobre	19'20	
Cloro	13'50	Determina un 6'39% de
O (calc)	(6'10)	agua, en 0'3253 grs del mi-
H ₂ O, (calc)	(5'44)	neral, citando el procedi-
		miento de análisis.
	<u>99'69%</u>	

o bien,

oxicloruro de Cu : 33'67%
 oxicloruro de Pb : 55'02%
 cloruro de Ag : 10'95%

D.—Análisis (Friedel, 1906) :

	I	II	III	IV	V
Pb	49'16	49'52	49'34	48'89	49'93
Cl	17'04	17'28	17'16	16'77	17'13
AgCl	12'03	11'16	11'59	11'30	11'54
CuO	17'17	17'20	17'18	18'78	17'05
Residuos	0'21	0'25	0'23	18'78	17'05
H ₂ O	4'35	4'35	4'35	4'26	4'35
	<u>99'96</u>	<u>99'76</u>	<u>99'85</u>	<u>100'00</u>	<u>100'00</u>

La columna I se refiere a la zona interna; la II a la zona externa; la III es la media de los dos análisis. Ambas zonas son químicamente idénticas.

La proporción de cobre es demasiado débil para la fórmula admitida por Mallard: 3 PbCl₂, 3 CuO, AgCl · 3 H₂O que se calcula en la columna IV.—Por lo contrario, el análisis satisface exactamente a la fórmula (que se calcula en la columna V) :

9 PbCl₂ , 8 CuO , 3 AgCl , 9 H₂O

En 1930 repite Friedel sus análisis con los siguientes resultados:

	I	II	III
Pb	53'5	47'7	49'3
Cl	20'2	17'9	17'2
AgCl	1'6	10'3	11'6
CuO	16'5	16'1	17'2
H ₂ O	5'5	4'3	4'3
Res.	0'8	1'1	0'2
	<u>98'1</u>	<u>97'4</u>	<u>99'8</u>

La columna I se refiere a la zona más externa (que llama de pseudoboleíta) prácticamente carente de Ag; la II a la región central; la III es la de resultados medios entre las I y II, por la que confirma sus análisis de 1906.

E.—Análisis (Dana, 1957) :

	I	II	III	IV	V
Pb	49'73	49'16	49'52	49'51	47'20
CuO	16'98	17'17	17'20	17'71	24'03
AgCl	11'47	12'03	11'16	11'51	10'96
Cl	17'02	17'04	17'28	17'13	10'79
H ₂ O	4'80	4'35	4'35	4'48	[7'02]
Insol.		0'21	0'25		
Totales:	<u>100'00</u>	<u>99'96</u>	<u>99'76</u>	<u>100'14</u>	<u>[100'00]</u>

La columna I se refiere a la fórmula Pb₉Cu₈Ag₃Cl₂₁(OH)16.2H₂O (Mallard y Cumenge, 1891).

II Zona isótropa interna (Boleo) (Friedel, 1906).

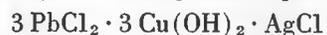
III Zona anisótropa externa (Boleo) (Friedel, 1906).

IV Boleíta, según Gossner y Arm (1929).

V Boleíta de Broken Hill (Nueva Gales del Sur). (Carmichael, 1894), en la que una determinación directa del H₂O da 6'39%.

Es raro el que aceptando Palache (et alt. en el Dana, 1957) estos análisis, no admita para la boleíta la fórmula de Friedel (ni de Mallard) sino que le proponga la de $Pb(Cu, Ag_2)Cl_2(OH)_2H_2O$, de parentesco con la de Mallard (1891) por su composición y con la de Gossner (de 1928) por su concepto de sustitución isomorfa de la plata.

F.—En su primer trabajo sobre la boleíta, le asigna Gossner (1928) la fórmula $PbCl_2 \cdot Cu(OH)_2$ con un considerable contenido de $AgCl$ debido a sustitución isomorfa; mas en su publicación con Arm al año siguiente (Gossner y Arm, 1929), fijan la participación de la Ag en su composición química y adoptan la expresión



con ninguna (o muy pequeñas) sustituciones isomorfas de $PbCl_2$ y de $AgCl$ a $Cu(OH)_2$. Esta fórmula tiene gran analogía con la dada por Mallard y Cumenge (1891).

Gossner y Arm efectuaron dos análisis (1930), sobre 0'3119 grs y 0'4335 grs (describiendo el procedimiento seguido en una nota de la pág. 218 de su trabajo):

	I	II	Media	Relac. Mol.
Pb	49'37	49'66	49'51	0'2389
Ag	8'61	8'71	8'66	0'0802
CuO	18'01	17'41	17'71	0'2225
Cl ₂	19'98	—	19'98	0'2816
H ₂ O	4'48	—	4'84	0'249
			100'34	

Esto les dio 0'239 $PbCl_2$, 0'080 $AgCl$, 0'223 $Cu(OH)_2$ y un resto de 0'027 H_2O . Para la fórmula $3 PbCl_2 \cdot 3 Cu(OH)_2 \cdot AgCl$, resulta ser muy baja la cantidad hallada de $Cu(OH)_2$. Pensaron atribuirlo a hipotéticas sustituciones isomorfas, que corresponderían a la distribución siguiente:

3 $PbCl_2$	3 $Cu(OH)_2$	1 $AgCl$
0'232	0'223 $Cu(OH)_2$ 0'006 $PbCl_2$ 0'003 $AgCl$	0'0774
	0'232	

Tales sustituciones resultan bastante escasas y les queda duda de si la citada fórmula $3 PbCl_2 \cdot 3 Cu(OH)_2 \cdot AgCl$ ($M = 1270'4$) representa en realidad la com-

posición más sencilla y verdadera del mineral. Desde luego, es más sencilla que la de Friedel, y satisface mejor a las investigaciones röntgenológicas. (Gossner y Arm, 1930).

En el artículo por el que Friedel (1930) reivindica sus conceptos sobre la boleíta ya publicados con anterioridad (en 1906) defiende su fórmula de



opinando que si rechazada por Gossner y Arm (1929) fue por no caberles este complejo molecular en su celda cúbica ($Z = 3'26$), mientras que acomodan perfectamente (con $Z = 9'04$) la que preconizan:



TABLA.—Cuadro comparativo de los resultados analíticos.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Pb	49'16	49'52	49'34	48'89	49'73	49'93	49'51	47'20
CuO	17'17	17'20	17'18	18'78	16'98	17'05	17'71	24'03
AgCl	12'03	11'16	11'59	11'30	11'47	11'54	11'51	10'96
Cl	17'04	17'28	17'16	16'77	17'02	17'13	17'13	10'79
H ₂ O	4'35	4'35	4'35	4'26	4'80	4'35	4'28	[7'02]
Res	0'21	0'25	0'23	—	—	—	—	—
	99'96	99'76	99'85	100'00	100'00	100'00	100'14	100'00

Los 7 primeros análisis se refieren a cristales del Boleo (México); el último, a una boleíta de Brooken Hill (Australia).

Estos resultados se refieren:

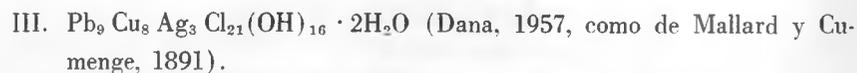
- I. Análisis de la zona interna de boleíta (Friedel, 1906).
- II. Análisis de la zona externa de boleíta (Friedel, 1906).
- III. Media aritmética de los dos resultados anteriores (Friedel, 1906).
- IV. Fórmula correspondiente: $3 PbCl_2 \cdot 3 CuO \cdot Ag \cdot 3 H_2O$ (Mallard y Cumenge, 1891).
- V. Fórmula correspondiente: $Pb_9Cu_8Ag_3Cl_{21}(OH)_{16} \cdot 2 H_2O$ (Mallard y Cumenge, 1891).
- VI. Fórmula correspondiente: $9 PbCl_2 \cdot 8 CuO \cdot 3 AgCl \cdot 9 H_2O$ (Friedel, 1906).
- VII. Fórmula correspondiente: $3 PbCl_2 \cdot 3 Cu(OH)_2 \cdot AgCl \cdot 3 H_2O$.
- VIII. Fórmula correspondiente: (Carmichael, 1894).

SINOPSIS DE LAS FORMULAS PROPUESTAS

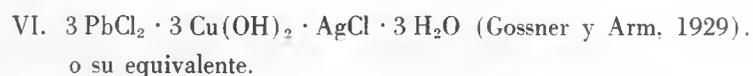
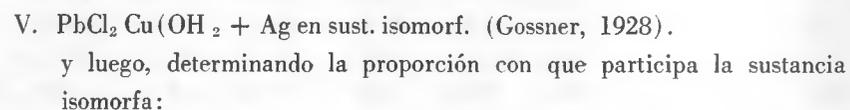
En los primeros trabajos se citan:



que consideran mejor expresada por

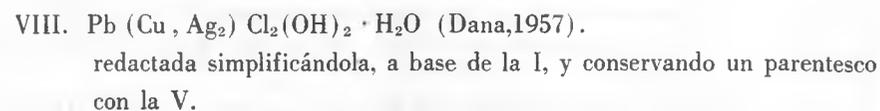


Esta fórmula es aceptada por Waldo (1935) y citada en las tarjetas de la ASTM (American Society for Testing and Materials).

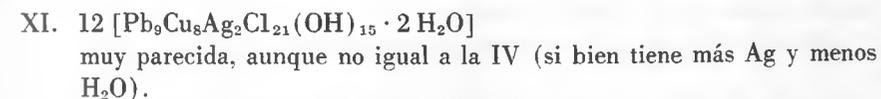
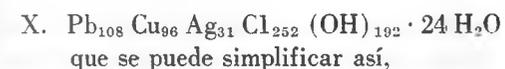


Estas dos (VI y VII) provienen de la (V) al determinar la cantidad del AgCl que se admite y entra en la composición de la boleíta.

La siguiente expresión es propuesta por Palache et al. (en Dana, 1957).



Son al parecer independientes de las anteriores, las



De las relaciones de una fórmula con otra puede deducirse que si bien todas están conformes con la composición química cualitativa de la boleíta, no todas son

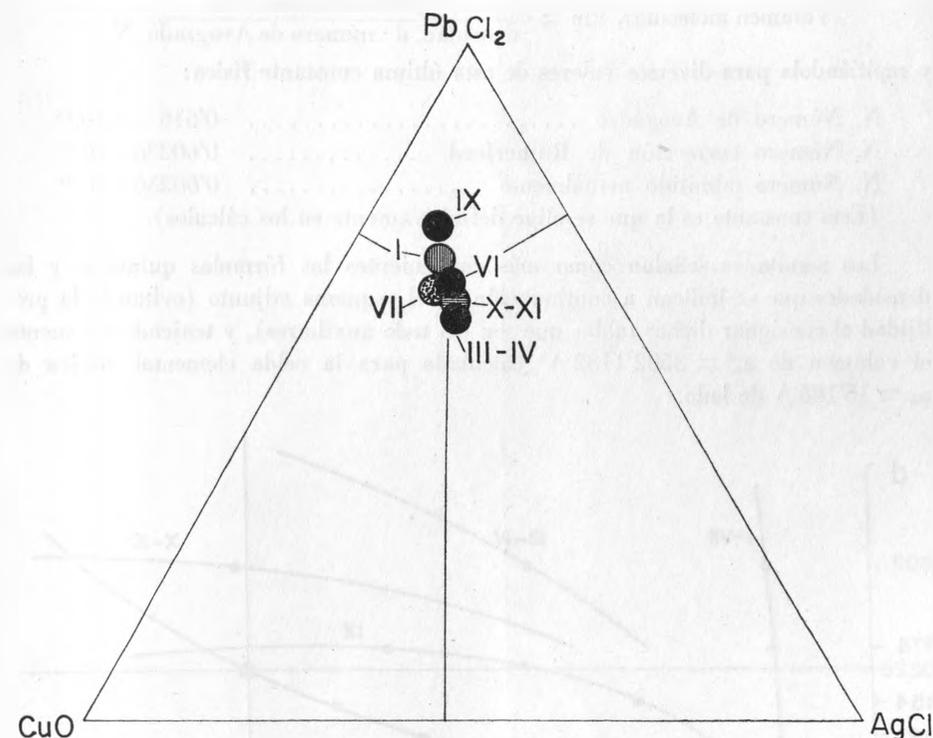


FIG. 20. Comparación entre las composiciones centesimales representadas por las fórmulas propuestas para la boleíta, con respecto a sus constituyentes metálicos.

unánimes con respecto al porcentaje de elementos. Mallard y Friedel dan a conocer los resultados parciales de sus análisis, lo cual ofrece una mayor base para la elección: y entre ellas tiene una mayor garantía la de Friedel, (IV), dada la descripción de su proceso de formulación. La de Gossner y Arm, (VI) (1919) le es muy parecida, salvo un porcentaje de cobre un poco más elevado.

Hay algunas fórmulas que se citan por sus autores sin el apoyo de los datos analíticos, dejando la impresión de pretender forzar el complejo molecular para hacerlo entrar en su celda elemental.

Para la elección de la fórmula más conveniente:

A. Se calculó una tabla de volúmenes moleculares correspondientes a cada caso y con las diferentes densidades propuestas, obteniendo los valores de la expresión.

$$\text{Volumen molecular, } V_m = \frac{\text{peso molecular, } P_m}{\text{densidad, } d \cdot \text{número de Avogrado, } N}$$

y repitiéndola para diversos valores de esta última constante física:

N, Número de Avogadro	0'616	: 10. ²⁴
N, Número corrección de Rutherford	0'60236	: 10. ²⁴
N, Número admitido actualmente	0'60236	: 10. ²⁴

(Esta constante es la que se elige definitivamente en los cálculos).

Los resultados señalan como más convenientes las fórmulas químicas y las densidades que se indican a continuación en el esquema adjunto (evitando la prolijidad al consignar dichas tablas que son del todo auxiliares), y teniendo en cuenta el volumen de $a_0^3 = 3502'1132 \text{ A}^3$ calculado para la celda elemental cúbica de $a_0 = 15'186 \text{ A}$ de lado.

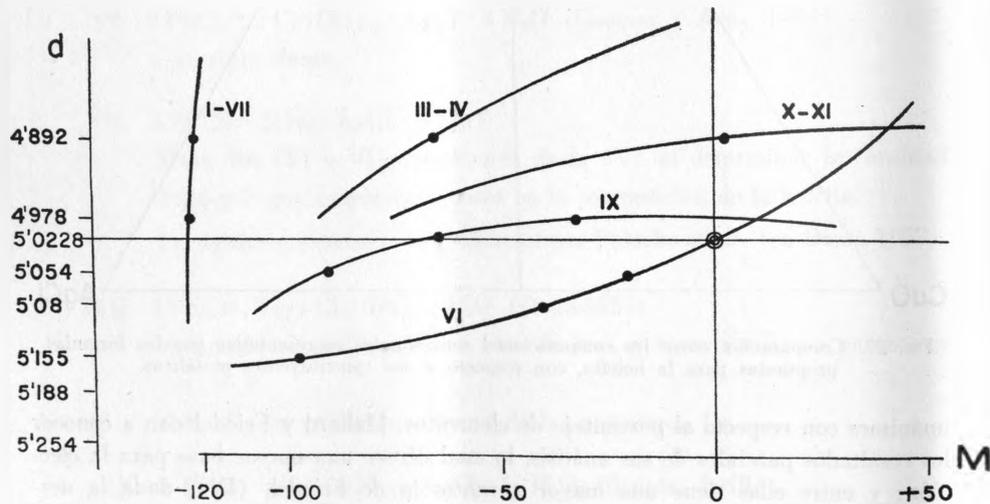


FIG. 21. Esquema de la coordinación entre las diversas densidades asignadas a la boleíta y los volúmenes moleculares calculados, según las diferentes fórmulas propuestas.

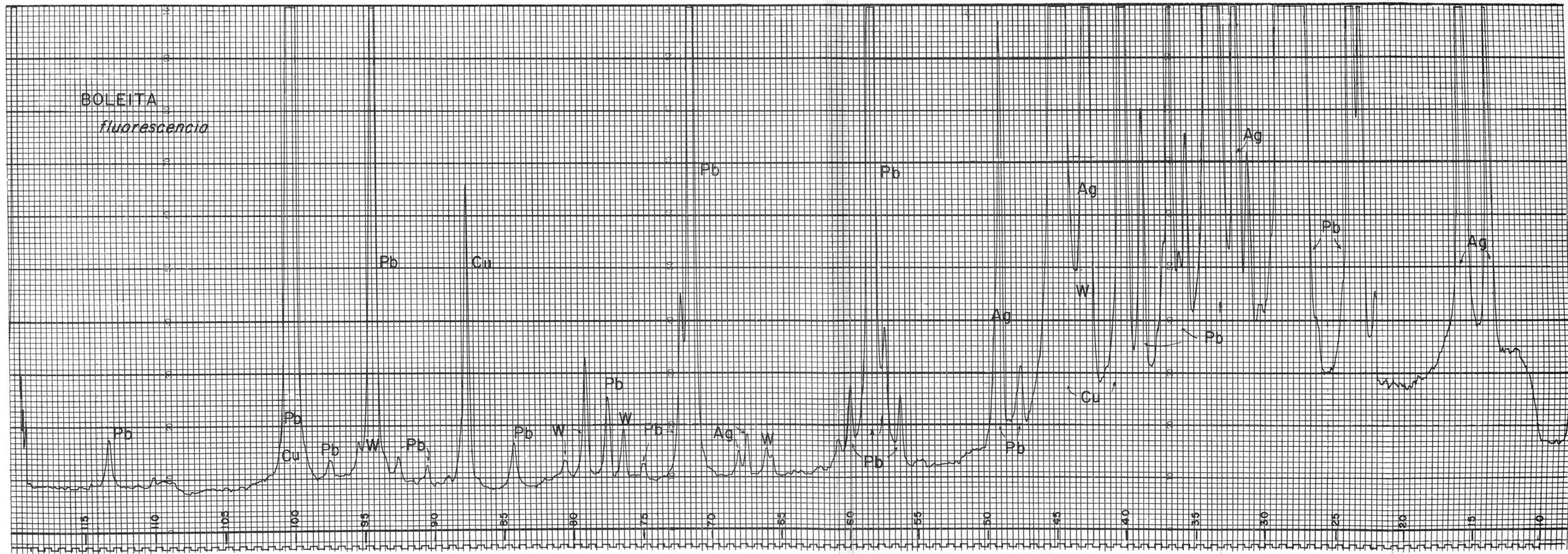


FIG. 22. Diagrama espectrofotométrico por fluorescencia.

B. Por lo expuesto se observa que la elección de fórmula entre las legítimas ya clásicamente admitidas, habrá de recaer en la VI de Gossner y Arm (1929):



con una densidad del mineral algo menor que la propuesta de 5.05

C. La densidad calculada resultó ser de $d = 5'02283$, muy cercana a la obtenida experimentalmente de $d = 5'013$.

D. Otra confirmación se ofrece con el cálculo del índice de refracción: se calcularon varias tablas auxiliares con las posibles refracciones moleculares, dadas las diferentes fórmulas y las diversas densidades propuestas: la indicación fue también positiva, aunque dejando una área de elección un poco mayor que el dato logrado por el cálculo de densidades.

DIAGRAMA ESPECTROFOTOMETRICO POR FLUORESCENCIA: Pb, Cu, Ag

El análisis de la curva da como componentes más abundantes Pb, Ag, Cu; y como accesorio el W. (Constantes experimentales en la leyenda de la figura).

ESPECTROSCOPIA DE EMISION:

Gramont (1895) da un buen espectro de chispa de la boleíta, con las líneas de Pb, Cu, Cl, y lo distingue de otro análogo de la cumengeíta por las líneas de Ag 547'0, 546'4 y 521'0.

LAUEGRAMA:

Hadding (1919) obtuvo un lauegrama en el Instituto de Física de Lund, de una esquirla de exfoliación según (100), de un cubo de boleíta. La lámina tenía un espesor de unos 0'35 mm. Exposición 6 h y media.

El cálculo demuestra tratarse de un cristal cúbico, aunque no se pueda demostrar por la simetría del lauegrama su distinción entre uno cúbico o uno tragonal.

Más tarde, en 1928, obtuvo Gossner otro lauegrama de la cara (100) de exfoliación y hace notar la presencia de un eje 4 con 2 + 2 planos de simetría. De su diagrama dedujo como posibles las clases

- Td — 4 3 m — Hemiedría hemimórfica
- 0 — 4 3 — Hemiedría enantiomórfica
- 0_h — m 3 m — Holoedría

Numeración de lauegrama de boleíta, según Hadding (1919).

Reflejos	<i>a</i> Observ.	<i>a</i> Calc.	φ Observ.	ρ Calc.
(10.0.1)	8.8 ± 0.2	8.82	90°	90°
(11.0.2)	16.6	16.40	"	"
(501)	18.6 ± 0.3	18.18	"	"
(401)	25.5 ± 0.5	23.25	"	"
(11.1.1)	7.95 ± 0.1	7.90	5°15' ± 1°15'	5°12'
(911)	9.75 ± 0.02	9.75	6° 0' ± 0°30'	6°20'
(811)	11.1 ± 0.1	10.98	6°45' ± 1° 0'	7° 6'
(611)	14.7 ± 0.05	14.74	9°30' ± 0°15'	9°28'
(511)	17.8 ± 0.05	17.79	11°30' ± 0°30'	11°19'
(922)	19.9 ± 0.1	19.84	12°30' ± 0°30'	12°32'
(731)	11.65 ± 0.1	11.66	23°30' ± 1° 0'	23°12'
(15.7.3)	16.45 ± 0.1	16.33	25° 0' ± 0°30'	25° 1'
(11.6.2)	14.2 ± 0.2	14.28	28°30' ± 0°30'	28°37'
(951)	8.6 ± 0.05	8.55	29°45' ± 0°45'	29° 3'
(531)	15.45 ± 0.05	15.41	31°30' ± 0°45'	30°58'
(851) (?)	9.5 ± 0.1	9.35	33° 0' ± 0°45'	32° 0'
(11.7.3)	21.1 ± 0.2	20.87	32° 0' ± 1° 0'	32°28'
(10.10.1)	6.4	6.21	45°0'	45° 0'
(991)	6.9	6.96	"	"
(771)	8.8 ± 0.1	8.92	"	"
(661)	10.4 ± 0.05	10.41	"	"
(551)	12.6 ± 0.05	12.58	"	"
(11.11.3)	17.5 ± 0.01	17.47	"	"

Lund, Geolog.—Mineralog. Inst., 7. Nov. 1918.

DIMENSIONES DE LA CELDA ELEMENTAL:

$a_0 = 15'186 \text{ \AA}$

I.—Primeras determinaciones.

a. Mussnug (en Gossner, 1928) determinó las constantes reticulares por medio de los rayos X:

Dirección	Distancia en \AA		Método empleado
	Observada	Calculada	
[100]	15'6	—————	Oscilación de la cara (100) natural.
[110]	21'9	22'6 = $a\sqrt{2}$	
[111]	26'8	27'0 = $a\sqrt{3}$	Oscilación de la cara (110) de exfoliación.

Valores que no admiten, por incompatible, la relación paramétrica propuesta de $a : c = 1 : 3'996$ de la hipótesis de una boleíta tetragonal: el estrato exterior de boleíta es cúbico.

Dedujo, por lo tanto, como traslación elemental de su red cúbica: $a_0 = 15'6 \text{ \AA}$.

b. Hocart obtiene (1930) una radiografía de una esquirla de exfoliación a $14'3'$ de la cara del cristal, y no de la zona central: diagrama oscilante 15° , con $\text{CuK}\alpha$ (filtro níquel), por [001], diámetro de la cámara 7'5 cms., 30 kV, 15 mA, 25 minutos.

Encuentra como reflejos más intensos los 4p, e invisibles los de niveles intermedios $4p + 1, 4p + 2, 4p + 3$. Tomó pocos diagramas y sólo de las aristas del cubo como eje de giro: de allí el refuerzo en la intensidad de algunos niveles múltiples de 4. Además, hace pensar en diagramas deficientes, porque tales niveles existen, aunque débiles, cual se pueden demostrar por nuestros diagramas de Weissenberg.

De los niveles de sus diagramas reales o supuestos deduce $c_0 = 62$, $a_0 = 15'4$, $c_0 : a_0 = 4$ aproximadamente (goniométricamente sería de 3'996, en la hipótesis de una celda tetragonal, para sostener la idea primitiva de Friedel).

Aún admitiendo por válidas esas constantes reticulares de Hocart, se olvida de que en un diagrama de cristal giratorio por el eje c , son muy débiles los niveles no divisibles por 4, lo que indica una pseudocelda de forma cúbica (la dada por Gossner y Arm).

Argumenta asimismo sobre cierta distinción que percibe entre los niveles intermedios a los reforzados, pretendiendo justificar la independencia entre boleíta y pseudoboleíta, aunque reconoce manchas comunes en los dos diagramas.

Indica que los valores numéricos logrados a partir de los röntgenogramas se conocen sólo con la aproximación de 1/2%, por lo cual se confirman las mediciones goniométricas de Friedel.

Con esa pobreza de datos pretende defender la tetragonalidad goniométrica de la boleíta, la autonomía de la pseudobleíta, y combatir las afirmaciones de Gossner y Arm.

No se mencionan otros diagramas, por [100] por ejemplo, que sirven de base a otros datos que da después, resultando por consiguiente como afirmaciones gratuitas.

c. En ese mismo año de 1930, publican Gossner y Arm unos diagramas de cristal giratorio por [100], [110], [111], [112], y hallan para la celda cúbica $a_0 = 15'40$ A, a partir de los reflejos 300, 500, 600, 222, 333, 444, 220, 330, 440.

Publican la tabla siguiente, análoga a la expuesta ya en Am. Min. 13 (1928) 579.

Dirección [h k l]	Media observada	Dimensión calculada
[100] = a_0	15'44	—
	Periodos de identidad P en A	
	15'44	
	15'46	
	15'49	
	15'39	
[110]	21'72	$a_0 = 15'36 = \frac{21'72}{\sqrt{2}}$
	21'76	
	21'73	
	21'79	
	21'64	
	21'75	
	21'69	
[111]	26'62	$26'67 = 15'40 \cdot \sqrt{3}$
	26'35	
	26'46	
	26'60	
	26'67	
	26'80	
	26'82	
[112]	37'6	$37'7 = 15'40 \cdot \sqrt{6}$
	37'66	
	37'67	
	37'48	
	37'46	

Gossner obtuvo además dos diagramas de cristal giratorio por la dirección [100] y sobre la cara (001): revelaron la identidad entre boleíta y pseudobleíta. Nos excusamos de reproducirlos aquí fotográficamente, rogando a quien desee verificarlos dirigirse a la publicación original, pág. 230, que los trae, así como otro con giro por [110].

Midió como periodos de identidad $a_0 = 15'40$ A y $P_{[110]} = 21'76$ A.

Otro cristal con las placas de "pseudobleíta" dio $P_{[100]} = 15'35$ A, que resultó ser más rico en manchas ecuatoriales. Numeró los reflejos acostumbrados 002 003 004 005 006 007 y algunos otros (hkl) anómalos, que se deben probablemente a fragmentos adheridos de cumengeíta.

Halló que entre ambas especies de boleíta y "pseudobleíta" coinciden la gran mayoría de los reflejos, aunque se perciben ligeras diferencias: concluyó que ambas especies son estructuralmente idénticas, debiendo buscar esas peculiaridades en los crecimientos mutuos debidos al tipo de macla.

II.—Determinaciones actuales (F):

Se efectuaron las siguientes determinaciones:

a).—A partir de dos diagramas de oscilación [001], de 40° y 80° respectivamente, con $\text{Cu K}\alpha\lambda = 1'54178$ (valor de λ dado por la International Tables, Acta Crystallographica, Vol. 3 (1950), p. 400), filtro Ni, kV 35, mA = 15, 5 h con cámara cilíndrica de 57'5 m m de diámetro:

1° diagrama: se midieron los 4 primeros niveles, promedio. $c_0 = 15'128$ A.

2° diagrama: se midieron los 3 primeros niveles, promedio. $c_0 = 14'980$ A.

Boleíta: diagrama de doble oscilación I [001] 180°

$\text{Cu K}\alpha =$ Filtro Ni.

kV 35

mA 15

4 H.

Placa prismática de exfoliación. paralela a (100).

b).—A partir de su diagrama, registrado fotométricamente, se calculó la traslación $a_0 (= b_0 = c_0$ por tratarse de una red cúbica). (Constantes experimentales en la leyenda de la figura).

Se emplearon los espaciados de las 18 primeras líneas y aplicación de la forma cuadrática, deduciendo los valores de a_0 a partir de los espaciados d y de los ángulos de Bragg. Se obtuvieron los siguientes resultados:

$$a^2 = d^2 (h^2 + k^2 + l^2)$$

$$\text{Promedio de } a_0^2 = 230'61459$$

$$a_0 = 15'186 \text{ \AA}$$

c).—La determinación de a_0 ($= b_0 = c_0$) hecha a partir del diagrama de Weissenberg. Para ella se obtuvieron dos diagramas ecuatoriales (I [001]), Cu $K\alpha\lambda = 1'54178$, filtro Ni (18h y 22h respectivamente, 35 kV y 15 mA). En ellos se aprecian:

1. La equidistancia entre las oblicuas determinadas por los pinacoides 1º y 2º, siendo perfecta su coincidencia, es indicio de los dos ejes I y II mutuamente perpendiculares y de la igualdad de las otras dos traslaciones $a_0 = b_0$.

2. Medidas las traslaciones a_0 y b_0 en dicho diagrama se dedujeron valores iguales con extrapolación gráfica para los próximos al ecuador que resultaron invisibles. Se obtuvo un promedio de

$$a_0 = b_0 = 15'452 \text{ \AA}$$

d).—De todas las observaciones anteriores se puede establecer la longitud media de la traslación elemental:

Valor obtenido por el 1o. diagrama de oscilación.	15'128
Valor obtenido por el 2o. diagrama de oscilación.	14'980
Valor obtenido por el diagrama de polvo.	15'186
Valor obtenido por el diagrama de Weissenberg.	15'452

Promedio 15'184 \AA

con el cual se justifica la elección de $a_0 = 15'186 \text{ \AA}$ obtenido a partir del registro fotométrico del diagrama de polvo, aparte de las mayores garantías que ofrece, tanto

por el procedimiento empleado cuanto por ser el único valor que satisface a las ecuaciones de la forma cuadrática.

Se hace observar a este respecto que se ha calculado dicha forma cuadrática varias veces, con los diferentes valores propuestos para a_0 por los autores, y es el único, el de $a_0 = 15'186$, que la ha satisfecho plenamente.

CONTENIDO DE LA CELDA ELEMENTAL:

A. 1.—Gossner fue el primero en pretender determinar el contenido de la celda elemental de la boleíta. Parte de su afirmación de la celda cúbica, de $a_0 = 15'6 \text{ \AA}$.

El compuesto tiene un peso molecular $M = 375'8$ ($\text{PbCl}_2 \cdot \text{CuO}_2\text{H}_2$). La densidad que admite para sus cristales es de 5'054: habría $Z = 31'2$ moléculas en la celda, si se despreciara su contenido de Ag, que se halla en forma de AgCl. Admitiendo cierta sustitución isomorfa de AgCl se traduciría por una reducción de peso molecular, y así se podría contar con $Z = 32$ moléculas por celda. (Gossner, 1928).

2.—Diez años más tarde vuelve su atención sobre el mismo problema (Gossner y Arm. 1929), mas considerando la celda de parámetro fundamental algo menor: $a_0 = 15'40$, y calcula $Z = 9'04$ (aproximadamente 9).

3.—En el artículo por el que Friedel pretende rebatir las novedades halladas por Gossner y que se sientan como contrarias a sus afirmaciones anteriores sobre la boleíta (Friedel, 1930), y apoyado por los estudios concomitantes de Hocart, afirma como fórmula posible la de $\text{Pb}_9\text{Cu}_8\text{Ag}_3\text{Cl}_{21}\text{O}_8 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$, deducida de sus análisis de años atrás, y recalcula $Z = 3'08$ a base de la densidad 5'188. Establece una nueva densidad 5'054, con la que $Z = 3'00$ tiene un valor exacto. De emplear la fórmula VI (Pág. 88) de Gossner y Arm (1929), tendría un valor $Z = 8'81$. (Friedel, 1930).

Hocart acude en apoyo de Friedel y de los niveles de un diagrama de cristal oscilante (Hocart, 1930) sobre 100, mide $a_0 = 15'40$, deduciendo $Z = 12$ para la fórmula de Friedel.

4.—Dana (1957) da como aún en duda el contenido de la celda $Z = ?$, aunque cita como probable complejo molecular:



B. Nuestra determinación: Teniendo en cuenta el complejo molecular adoptado:

$3 \text{PbCl}_2 \cdot 3 \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{AgCl} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ (Gossner y Arm, 1929), así como la densidad experimental de la boleíta $d = 5'031$, el número Z de moléculas por celda elemental es:

$$V_m = \frac{P_m}{d \cdot N} = \frac{1324'48}{5'031 \cdot 0'60236 \cdot 10^{24}} = \frac{1324'48}{3'0304 \cdot 10^{24}} = 437'0644 \text{ A}^3$$

$$Z = \frac{a_0^3}{V_m} = \frac{3502'1132}{437'0644} = 8'0128, \text{ esto es, aproximadamente } 8.$$

A partir de esta cifra exacta del contenido molecular se recalculó la densidad.

FORMA CUADRÁTICA:

$$Q(\text{hkl}) = 0'00433625 (h^2 + k^2 + l^2)$$

I.—Cálculo anterior:

Mussnug (en Gossner, 1928) midió tres diagramas de oscilación y obtuvo:

Reflejos	Intensidad	θ calc.	θ observ.	Observaciones
002	—	5°40'	5°40'	
003	m	8°30'	8°30'	
004	ff	11°22'	11°24'	
005	f	14°16'	14°24'	
006	f	17°11'	17°24'	
<hr/>				
222	ff	9°50'	9°50'	
333	f	14°40'	14°54'	
444	m	19°57'	20° 3'	Una película de (111) con giro por [101].
555	m	25°15'	25°30'	

Empleando para los cálculos $\lambda = 1'54 \text{ A}$ del CuK_α , que con la dimensión de la $a_0 = 15'6 \text{ \AA}$ del cubo, dio la forma cuadrática de $\text{sen}^2\theta = 0'00244 (h^2 + k^2 + l^2)$.

Nuestro juicio sobre estos valores se expresa por medio de las determinaciones siguientes:

II.—Cálculo Actual (F):

La forma cuadrática se calculó a base de

$$Q(\text{hkl}) = \frac{4 \text{sen}^2 \theta}{\lambda^2} = \frac{1}{d^2(\text{hkl})} = \frac{1}{a^2} (h^2 + k^2 + l^2)$$

siendo $a_0 = 15'186$ y para $\text{CuK}_\alpha \lambda = 1'54178$:

$$a_0^2 = 230'61459$$

$$Q(\text{hkl}) = 0'00433625 (h^2 + k^2 + l^2)$$

Se hace notar la coincidencia entre los valores calculados y los observados de 2θ , tomando como datos de comparación los máximos obtenidos por el registro fotométrico del diagrama de difracción, con las excepciones de unas ligeras desviaciones en los valores correspondientes a

$N = (h^2 + k^2 + l^2)$	2θ (calc.)	2θ (observ.)
49	41'63	41'5
52	42'94	42'8
59	45'90	45'8
64	47'92	47'8
75	52'16	52'3
96	59'65	59'4
126	69'47	69'7
143	74'75	74'6

lo cual pone de manifiesto un ligero incremento en la dispersión de los valores correspondientes a índices elevados: la razón posible se dio al tratar de la medición de la traslación fundamental a partir del diagrama de Weissenberg.

La columna de los espaciados d que se consigna en la tabla siguiente, se ha hecho a partir de los ángulos 2θ calculados.

TABLA N° 1

N	(hkl)	Q	2 θ (calc.)	2 θ (obs.)	d
1	100	0'004536	5'82	5'8	15'186
2	110	008672	8'23	—	10'745
3	111	013008	10'08	10'0	8'780
4	200	017345	11'65	—	7'595
5	210	021681	13'03	—	6'800
6	211	026017	14'28	—	6'200
8	220	034690	16'51	16'5	5'365
9	300, 221	039026	17'52	17'5	5'065
10	310	043662	18'47	18'5	4'805
11	311	047698	19'38	19'4	4'580
12	222	052035	20'25	20'3	4'380
13	320	056371	21'09	21'1	4'215
14	321	060707	21'90	21'9	4'055
16	400	069380	23'43	23'4	3'795
17	410, 322	073716	24'16	24'2	3'685
18	411, 330	078052	24'87	24'9	3'580
19	331	082388	25'56	25'5	3'490
20	420	086725	26'24	26'2	3'400
21	421	091061	26'90	26'9	3'312
22	332	095397	27'54	—	3'235
24	422	104070	28'80	28'8	3'100
25	500, 430	108406	29'41	29'4	3'036
26	510, 431	112742	30'00	30'0	2'980
27	511, 333	117080	30'58	30'6	2'923
29	520, 432	125751	31'73	31'7	2'820
30	521	130087	32'28	32'3	2'773
32	440	138760	33'37	33'4	2'685
33	522, 441	143096	33'90	33'9	2'644
34	530, 433	147432	34'43	34'4	2'605

TABLA N° 1

(continuación)

N	(hkl)	Q	(calc.) 2 θ	(obs.) 2 θ	d
35	531	151768	34'95	34'9	2'568
36	600, 442	156105	35'46	35'4	2'531
37	610	160441	35'97	—	2'497
38	611, 532	164777	36'47	36'4	2'457
40	620	173450	37'45	—	2'401
41	621, 540, 433	177786	37'93	37'9	2'372
42	541	182122	38'41	—	2'343
43	533	186458	38'88	38'8	2'316
44	622	190795	39'35	39'3	2'290
45	630, 542	195131	39'81	39'8	2'264
46	631	199467	40'27	—	2'239
48	444	208140	41'18	—	2'192
49	700, 632	212476	41'63	41'5	2'170
50	710, 550, 543	216812	42'07	41'9	2'148
51	711, 551	221148	42'51	42'5	2'127
52	640	225485	42'94	42'8	2'106
53	720, 641	229821	43'37	—	2'086
54	721, 633, 552	234157	43'80	43'8	2'067
56	642	242830	44'65	44'6	2'029
57	722, 544	247166	45'07	44'9	2'011
58	730	251502	45'48	—	1'994
59	731, 553	255838	45'90	45'8	1'977
61	650, 643	264511	46'71	—	1'945
62	732, 651	268847	47'12	—	1'929
64	800	277520	47'92	47'8	1'898
65	810, 740, 652	281856	48'31	—	1'884
66	811, 741, 554	286192	48'71	—	1'870
67	733	290528	49'10	—	1'856
68	820, 644	294865	49'49	49'4	1'842

TABLA N° 1

(continuación)

N	(hkl)	Q	(calc.) 2 θ	(obs.) 2 θ	d
69	821, 742	299201	49'88	—	1'828
70	653	303537	50'26	—	1'815
72	822, 660	312210	51'03	50'9	1'789
73	830, 661	316546	51'40	—	1'778
74	831, 570, 743	320882	51'78	—	1'766
75	751, 555	325218	52'16	52'3	1'754
76	662	329555	52'53	—	1'743
77	832, 654	339891	52'90	—	1'731
78	752	338227	53'27	53'2	1'720
80	840	346900	54'00	—	1'698
81	900, 841, 744, 663	351236	54'37	—	1'687
82	910, 833	355562	54'73	54'8	1'677
83	911, 753	359908	55'09	—	1'666
84	842	364245	55'45	—	1'657
85	920, 760	368581	55'81	—	1'647
86	921, 761, 655	372917	56'16	56'1	1'638
88	664	381590	56'87	56'9	1'619
89	922, 850, 843, 762	385626	57'22	57'3	1'610
90	930, 851, 754	390262	57'57	—	1'601
91	931	394598	57'92	—	1'592
93	852	403271	58'62	—	1'575
94	932, 763	407607	58'96	—	1'567
96	844	416280	59'65	59'4	1'550
97	840, 665	420616	59'99	—	1'542
98	941, 853, 770	424954	60'33	60'3	1'534
99	933, 771, 755	429288	60'67	60'7	1'526
100	10.0.0, 860	433625	61'01	—	1'519
101	10.1.0, 942, 861, 764	437961	61'35	—	1'511
102	10.1.1, 772	442297	61'68	—	1'504

TABLA N° 1

(continuación)

N	(hkl)	Q	(calc.) 2 θ	(obs.) 2 θ	d
104	10.2.0, 862	450970	62'35	—	1'489
105	10.2.1, 854	455306	62'68	—	1'482
106	950, 943	459642	63'02	63'0	1'475
107	951, 773	463978	63'35	—	1'468
108	10.2.2, 666	468615	63'68	—	1'461
109	10.3.0, 863	472651	64'01	—	1'455
110	10.3.1, 952, 765	476987	64'33	—	1'447
113	10.3.2, 944, 870	489996	65'31	—	1'429
114	871, 855, 774	494332	65'64	65'7	1'424
115	953	498668	65'96	—	1'417
116	10.4.0, 864	503005	66'28	—	1'410
117	10.4.1, 960, 872	507341	66'61	—	1'404
118	10.3.3, 961	511677	66'93	—	1'398
120	10.4.2	520350	67'57	67'6	1'387
121	11.0.0, 962, 766	524686	67'89	—	1'381
122	11.1.0, 954, 873	529022	68'20	68'2	1'375
123	11.1.1, 775	533358	68'52	68'6	1'370
125	11.2.0, 10.5.0, 10.4.3, 865	542031	69'16	—	1'358
126	11.2.1, 10.5.1, 963	546367	69'47	—	1'353
128	880	555040	70'10	—	1'342
129	11.2.2, 10.5.2, 881, 874	559376	70'41	—	1'337
130	11.3.0, 970	563712	70'73	70'8	1'332
131	11.3.1, 971, 955	568048	71'04	—	1'327
132	10.4.4, 882	572385	71'35	—	1'322
133	964	576721	71'66	71'6	1'317
134	11.3.2, 10.5.3, 972, 776	581057	71'98	—	1'312
136	10.6.0, 866	589730	72'59	—	1'303
137	11.4.0, 10.6.1, 883	594066	72'90	73'1	1'298
138	11.4.1, 875	598402	73'21	—	1'293

TABLA N° 1

(continuación)

N	(hkl)	Q	(calc.)		d
			2θ	(obs.) 2θ	
139	11.3.3, 973	602738	73'52	—	1'288
140	10.6.2	607065	73'83	—	1'284
141	11.4.2, 10.5.4	611411	74'14	—	1'279
142	965	615747	74'44	—	1'275
144	12.0.0, 884	624420	75'06	—	1'266
145	12.1.0, 10.6.3, 980	628756	75'36	—	1'261
146	12.1.1, 11.5.0, 11.4.3, 981, 974	633092	75'66	—	1'256
147	11.5.1, 777	637428	75'97	76'0	1'253
148	12.2.0	641765	76'27	—	1'249
149	12.2.1, 10.7.0, 9.8.2, 876	646101	76'58	76'5	1'244
150	11.5.2, 10.7.1, 10.5.5	650437	76'88	—	1'299

DIAGRAMA DE POLVO:

$$\frac{3'795}{100} \quad \frac{2'685}{77} \quad \frac{4'380}{63} \quad \frac{5'065}{27}$$

Se obtuvieron dos diagramas de polvo, cuyas constantes röntgenográficas se expresan en las respectivas leyendas de las figuras correspondientes:

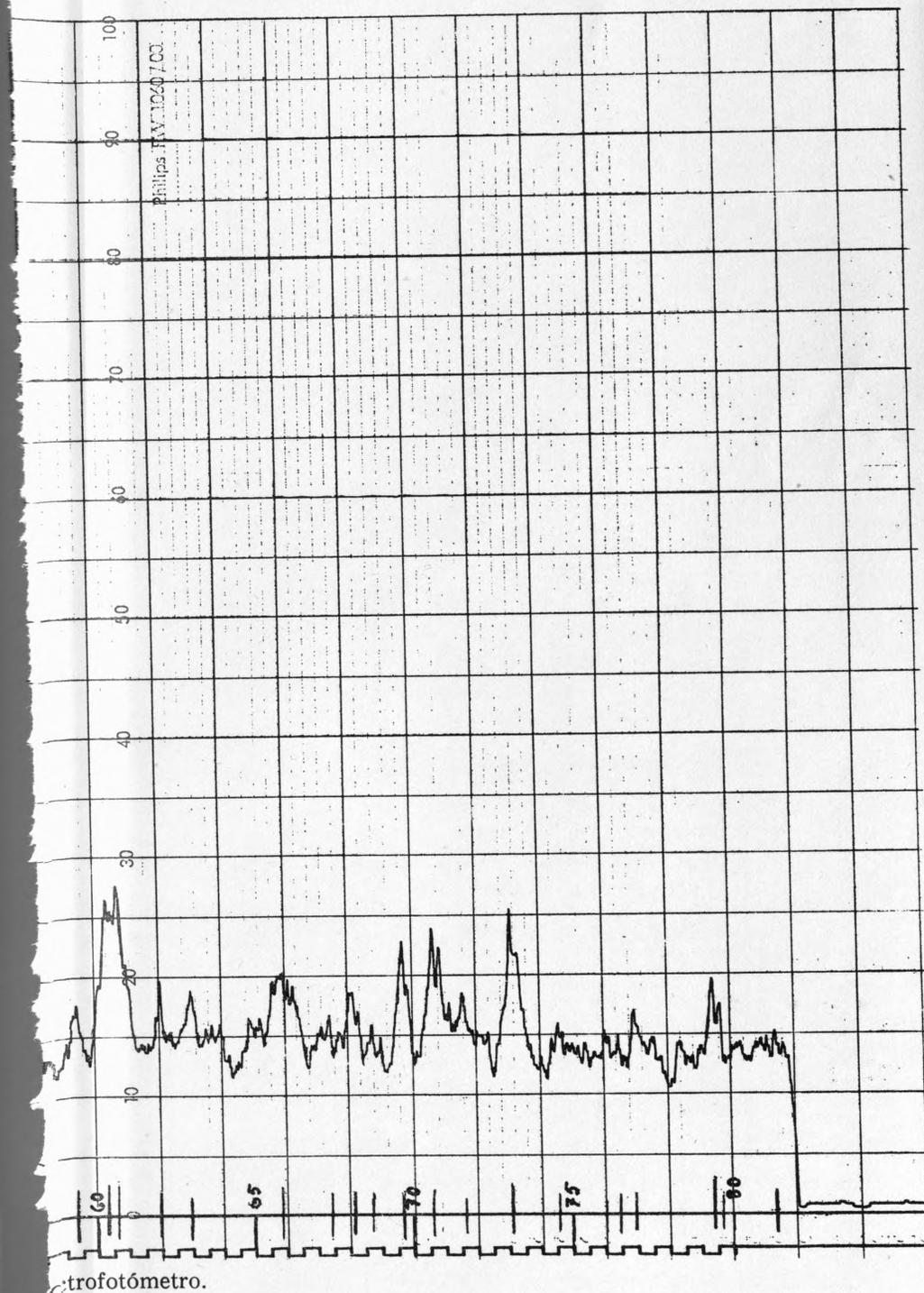
a) Diagrama de difracción, con registro fotométrico, cuyos espaciados d que se consignan son los calculados a partir de los valores 2θ (Oserv. y calculados), así como las intensidades relativas de los máximos registrados a partir de una línea del nivel medio de fondo. $\text{Cu K}\alpha$, $\lambda = 1'54178$

b) Diagrama fotográfico de Debye Scherrer, con los espaciados y correspondientes intensidades relativas que se pudieron apreciar. $\text{Cu K}\alpha$, $\lambda = 1'54178$

c) Datos de Waldo (Am. Min. 20 (1935) 584) citados en las tarjetas de la ASTM, No. 2-240, haciendo notar que dicho autor tiene a la holéita como tetragonal. Empleó para su diagrama la onda $\text{Mo K}\alpha$, $\lambda = 0'709$. Sus índices de elección de la tarjeta correspondiente es:

$$\frac{4'40}{100} \quad \frac{3'83}{100} \quad \frac{3'13}{100} \quad \frac{5'10}{40}$$

La numeración del diagrama se realizó a base de los máximos obtenidos en el primero de los citados y mediante el cálculo de su forma cuadrática.



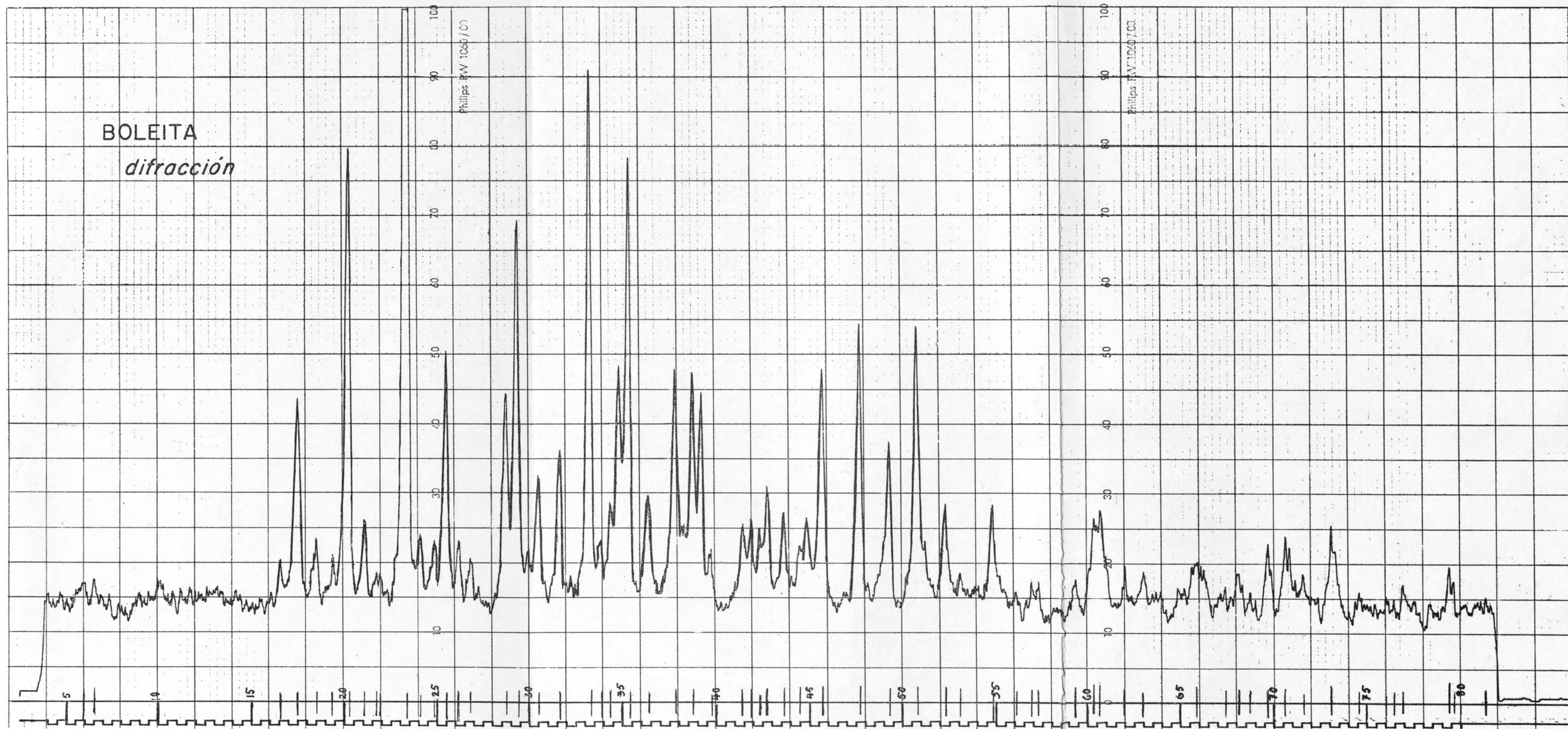


Fig. 24.—Diagrama de polvo: registro de la curva de intensidades de los reflejos por el espectrofotómetro.

TABLA N° 2
INTENSIDADES

(khl)	Diagr. difracc. Reg. fotométric.		Diagr. Debye Reg. fotogr.		Tarjeta ASTM No. 2-240	
	d(calc.)*	I/I ₀	d(obs.)	I/I ₀	d(obs.)	I/I ₀
100	15'186	0'1	—	—	—	—
111	8'780	0'1	—	—	—	—
220	5'365	0'5	—	—	—	—
300, 221	5'065	27	5'080	m	5'10	40
310	4'805	6	4'855	dd	4'86	20
311	4'580	4	—	—	—	—
222	4'380	63	4'445	f	4'40	100
320	4'215	10	4'250	d	—	—
321	4'055	2	—	—	—	—
400	3'795	100	3'845	ff	3'83	100
410, 322	3'685	7	—	—	—	—
411, 330	3'580	6	—	—	—	—
331	3'490	33	3'520	m	3'50	80
420	3'400	7	3'340	d	3'34	20
421	3'312	4	—	—	—	—
422	3'100	28	3'130	m	3'13	100
500, 430	3'036	54	3'065	m	—	—
510, 431	2'980	6	—	—	—	—
511, 333	2'923	16	2'950	d	2'95	40
520, 432	2'820	20	2'850	m	2'83	100
521	2'773	1	—	—	—	—
440	2'685	77	2'715	ff	2'69	100
522, 441	2'644	7	—	—	—	—
530, 433	2'605	13	2'620	d	—	—
531	2'568	32	—	—	2'56	80
600, 442	2'531	62	2'560	m	—	—
611, 532	2'457	14	2'479	d	2'47	20
621, 540, 443	2'372	32	2'398	f	2'38	100
533	2'316	31	2'325	f	2'32	100
622	2'290	29	—	—	—	—
630, 542	2'264	6	—	—	—	—

TABLA N° 2
INTENSIDADES (continuación)

(khl)	Diagr. difrac. Reg. fotométric. d(calc.) * I/I ₀	Diagr. Debye Reg. fotogr. d(obs.) I/I ₀	Tarjeta ASTM No. 2-240 d(obs.) I/I ₀
700, 632	2'170 10	—	—
710, 550, 543	2'148 11	2'161 d	2'15 20
711, 551	2'127 9	2'130 dd	2'12 20
640	2'106 15	—	—
721, 633, 552	2'067 12	2'085 d	2'07 20
642	2'029 7	2'041 dd	2'02 20
722, 544	2'011 11	—	—
731, 553	1'977 32	2'005 m	1'99 80
800	1'898 39	1'916 d	1'90 20
820, 644	1'842 22	1'860 d	1'85 60
822, 660	1'789 39	1'807 m	1'80 80
751, 555	1'754 13	1'758 d	1'75 60
752	1'720 1	—	—
910, 833	1'677 13	1'683 d	1'67 40
921, 761, 655	1'638 1	—	—
661	1'619 2	—	—
922, 850, 813, 762	1'610 2	1'618 dd	1'61 20
841	1'550 2	1'566 dd	—
941, 853, 770	1'534 11	1'540 d	—
933, 771, 755	1'526 13	1'530 d	1'53 40
950, 943	1'475 4	1'480 dd	1'48 20
871, 855, 774	1'424 6	1'416 d	1'42 20
10.4.2	1'387 3	—	—
11.1.0, 954, 873	1'375 1	—	—
11.1.1, 775	1'370 4	—	—
12.2.1, 10.5.0, 963	1'353 8	1'355 d	1'35 20
11.3.0, 970	1'332 4	1'339 d	—
964	1'317 3	—	1'32
11.4.0, 10.6.1, 883	1'298 10	1'305 d	1'29
11.5.1, 777	1'253 1	—	—
12.2.1, 10.7.0, 982, 876	1'244 1	—	—

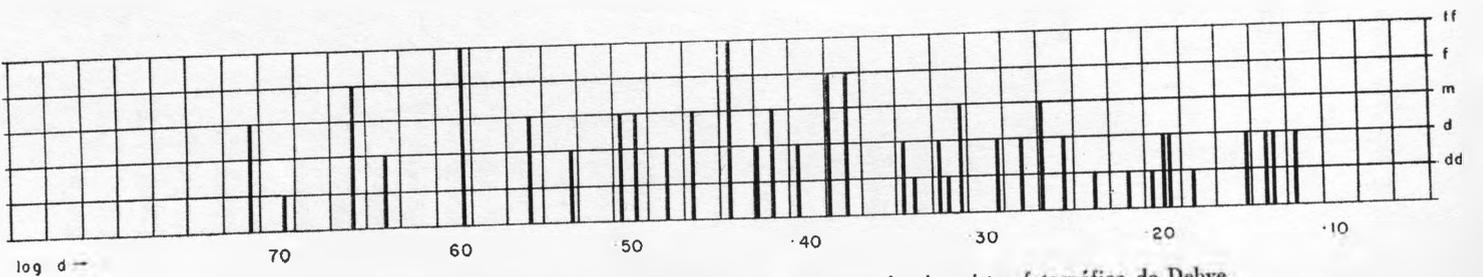


Fig. 25. Esquema del diagrama de polvo de la boleta: Corresponde al registro fotográfico de Debye.

BOLEITA: Diagrama de polvo.

CoK_α — filtro Fe — Expos.: 6 h.

30 kV — 20 mA.

Esquema del diagrama de polvo: corresponde al registro fotográfico de Debye (fig. 25).

TABLA N° 3

Tabla de correspondencias entre los espaciados d y sus respectivos logaritmos, con los que se ha dibujado la escala gráfica:

d	log. d	Intens.
5'080	0'70586	m
4'855	68619	dd
4'445	64787	f
4'250	62839	d
3'845	58490	ff
3'520	54654	m
3'340	52375	d
3'130	49554	m
3'065	48643	m
2'950	46982	d
2'850	45484	m
2'715	43377	ff
2'620	41830	d
2'560	40824	m
2'479	39428	d
2'398	37985	f
2'325	36642	f
2'161	33465	d
2'130	32838	dd
2'085	31911	d
2'041	30984	dd
2'005	30211	m
1'916	28240	d

TABLA N° 3

(continuación)

d	log. d	Intens.
1'860	26951	d
1'807	25696	m
1'758	24503	d
1'683	22608	d
1'618	20898	dd
1'566	19479	dd
1'540	18752	d
1'530	18469	d
1'480	17026	dd
1'416	14106	d
1'355	13194	d
1'339	12678	d
1'305	11561	d

GRUPO DE TRASLACION:

cúb. P

La primera determinación efectuada (Gossner y Arm. 1929), fijó la *red cúbica primitiva P*.

Esta elección fue confirmada por nosotros, cual resulta del examen de los índices y coincidencias expuestas en la tabla de resultados de la forma cuadrática.

DIAGRAMAS DE WEISSENBERG.

Primera serie de röntgenogramas:

El centrado del cristal se efectuó aproximadamente en el goniómetro óptico, dada la ausencia de aristas bien definidas, por tratarse de una esquirra de exfoliación. Luego se centró exactamente por medio de los rayos X (método de Weisz y Cole, Journ. of Sci. Instrum. 25 (1948) 213-214) obteniendo previamente para ello dos diagramas cilíndricos de cristal fijo, de 1 h y de 20 min, respectivamente.

Para todos estos diagramas, así como para los cilíndricos, se empleó la radiación CuK con filtro de Ni, 35 kV, 15 mA.

Estas radiografías sirvieron para confirmar las dimensiones de la celda.

Segunda serie de röntgenogramas:

Con objeto de efectuar posteriormente las correcciones de absorción, en vistas al cálculo de la estructura, se tallaron dos barritas cilíndricas de un cristal de boleíta, según las direcciones [001] y [100] respectivamente.

De cada una de ellas se lograron varios diagramas; de los esenciales se expone su interpretación en las tablas que siguen.

Fueron:

1º Del cilíndrico tallado en dirección [001], que se tomó como eje de giro, se obtuvieron:

- Un diagrama de Weissenberg ecuatorial normal (nivel 0).
- Un diagrama de Weissenberg de equi-inclinación (nivel 1).
- Un diagrama de Weissenberg de equi-inclinación (nivel 2).

2º Del cilindro tallado en dirección [100], tomando éste como eje de giro, se logró un diagrama de Weissenberg ecuatorial normal (nivel 0). Este resultó ser idéntico al análogo obtenido según [001], lo cual demuestra la isometría de la celda. (Cf. su crítica correspondiente).

En obsequio a una mayor claridad se incluyen las redes recíprocas de los diagramas correspondientes a la primera muestra, con sus reflejos registrados e intensidades relativas; se logra así una mayor información y con más claridad que expresando esos datos en forma de tablas. En ellas se han subrayado los reflejos de intensidades ff, f y m.

BOLEITA: Diagrama ecuatorial normal de Weissenberg

[001]

CuK α filtro Ni.

35 kV, 15 mA — 12 h.

Barrita cilíndrica tallada según [001].

Interpretado en la red recíproca de la Fig. 26.

Diagrama de Weissenberg ecuatorial normal.—Nivel 0.

[001]

Reflejos presentes:

030 040 050 060 070 080 090 0.10.0 0.11.0 0.12.0 0.13.0 0.14.0 0.16.0 0.17.0 0.18.0 130 180 190 1.10.0 1.11.0 1.12.0 1.13.0 1.17.0 220 230 240 250 280 2.10.0 2.12.0 2.13.0 2.14.0 2.15.0 2.16.0 2.18.0 300 310 320 330 350 360 370 380 390 3.10.0 3.12.0 3.13.0 3.15.0 3.18.0 400 420 440 450 460 480 4.10.0 4.11.0 4.12.0 4.14.0 4.15.0 4.17.0 4.18.0 500 520 530 540 550 5.7.0 590 5.10.0 5.11.0 5.13.0 5.15.0 5.16.0 5.17.0 5.18.0 600 630 640 660 670 6.10.0 6.11.0 6.13.0 6.14.0 6.17.0 6.18.0 700 730 750 760 770 780 7.10.0 7.13.0 7.15.0 7.16.0 7.18.0 800 810 820 830 840 870 880 8.10.0 8.11.0 8.12.0 8.13.0 8.14.0 8.15.0 8.17.0 8.18.0 900 910 930 950 990 9.10.0 9.13.0 10.0.0. 10.1.0 10.2.0 10.3.0 10.4.0 10.5.0 10.6.0 10.7.0 10.9.0 10.10.0 10.11.0 10.13.0 10.14.0 10.16.0 11.0.0. 11.0.1 11.4.0 11.5.0 11.6.0 11.8.0 11.10.0 11.11.0 11.12.0 11.14.0 11.15.0 11.16.0 12.0.0 12.1.0 12.2.0 12.3.0 12.4.0 12.8.0 12.11.0 12.12.0 12.13.0 12.14.0 13.1.0 13.2.0 13.3.0 13.5.0 13.6.0 13.7.0 13.8.0 13.9.0 13.10.0 13.12.0 14.0.0 14.2.0 14.4.0 14.6.0 14.8.0 14.10.0 14.11.0 14.12.0 15.2.0 15.3.0 15.4.0 15.5.0 15.7.0 15.8.0 15.10.0 15.11.0 15.12.0 16.0.0 16.5.0 16.7.0 16.9.0 16.10.0 17.1.0 17.0.0 17.5.0 17.6.0 17.8.0 18.0.0. 18.2.0 18.3.0 18.4.0 18.5.0 186.0

BOLEITA: Diagrama de Weissenberg, equi-inclinación: 1° nivel.

[001]

CuK α filtro Ni.

35 kV, 15 mA — 12 h.

Barrita cilíndrica tallada según [001].

Interpretado en la red recíproca de la Fig. 27.

Diagrama de equi-inclinación de Weissenberg: 1° nivel.

Reflejos presentes:

041 061 081 0.10.1 0.12.1 0.14.1 0.18.1 0.22.1 0.27.1 191 1.13.1 1.17.1 281 3.13.1 401 481 4.10.1 4.14.1 4.18.1 4.22.1 4.27.1 5.7.1 591 5.17.1 5.19.1 601 681 6.13.1 6.14.1 6.16.1 751 801 821 841 861 8.10.1 8.12.1 8.14.1 8.18.1 8.22.1 911 951 971 991 9.21.1 10.0.1 10.4.1 10.8.1 10.10.1 10.12.1 10.16.1 11.11.1 12.0.1 12.8.1 12.10.1 12.14.1 12.18.1 12.22.1 13.3.1 13.5.1 13.7.1 13.13.1 13.15.1 13.23.1 14.0.1 14.4.1 14.6.1 14.8.1 14.12.1 14.16.1 16.0.1 16.4.1 16.6.1 16.8.1 16.10.1 16.14.1 16.18.1 17.1.1 17.5.1 17.9.1 17.17.1 18.0.1 18.8.1 18.10.1 18.12.1 18.16.1 19.1.1 19.5.1 19.9.1 19.17.1 24.0.1 27.0.1 20.10.1 21.13.1 22.0.1 22.4.1 22.8.1 22.14.1 22.12.1 18.4.1

BOLEITA: Diagrama de Weissenberg, equi-inclinación: 2° nivel.

[001]

CuK α filtro Ni.

35 kV, 15 mA — 12 h.

Barrita cilíndrica tallada según [001].

Interpretado en la red recíproca de la Fig. 28.

Diagrama de equi-inclinación de Weissenberg: 2° nivel.

Reflejos presentes:

042 062 082 0.10.2 0.12.2 0.20.2 152 1.15.2 1.17.2 1.21.2 262 2.10.2 2.12.2 2.13.2 332 372 3.13.2 3.15.2 402 442 482 4.10.2 4.11.2 4.12.2 4.16.2 4.18.2 4.20.2 512 532 552 572 592 5.11.2 5.13.2 5.15.2 5.17.2 5.19.2 622 682 6.10.2 6.14.2 732 752 7.13.2 802 822 842 862 882 8.14.2 8.20.2 8.22.2 942 9.11.2 9.13.2 9.15.2 9.17.2 9.21.2 10.0.2 10.2.2 10.6.2 10.10.2 10.14.2 10.16.2 10.20.2 10.22.2 11.5.2 11.9.2 11.15.2 11.21.2 12.0.2 12.2.2 12.4.2 12.16.2 12.18.2 13.1.2 13.5.2 13.7.2 13.9.2 13.13.2 13.15.2 13.17.2 13.23.2 14.4.2 14.6.2 14.8.2 14.10.2 14.14.2 14.18.2 14.22.2 15.1.2 15.3.2 15.5.2 15.9.2 15.11.2 15.13.2 15.14.2 15.15.2 15.22.2 16.0.2 16.4.2 16.10.2 16.12.2 16.16.2 16.20.2 17.1.2 17.5.2 17.9.2 17.13.2 18.4.2 18.12.2 18.14.2 18.18.2 19.5.2 19.11.2 20.0.2 20.4.2 20.8.2 20.10.2 20.12.2 20.16.2 21.1.2 21.9.2 21.11.2 21.15.2 21.21.2 22.2.2 22.8.2 22.10.2 22.14.2 23.3.2 23.8.2 23.9.2 23.13.2 24.0.2 25.1.2 25.3.2 26.0.2 26.6.2 0.24.2 1.25.2 3.25.2 0.26.2 6.26.2 5.26.2 25.3.2 26.3.2

Con relación al siguiente diagrama de Weissenberg ecuatorial normal, se obtuvo según una dirección perpendicular a la [001] que sirvió como eje de giro para los tres diagramas de equi-inclinación anteriores. Al comparar los ecuatoriales correspondientes, se pueden verificar estas observaciones:

- a) el nuevo eje de giro elegido es precisamente el [100].
 - b) los tres ángulos axiales son todos exactamente de 90° , medidos en las placas radiográficas.
 - c) los espaciados según las oblicuas de los ejes h y k (de la primera radiografía, ecuatorial, con giro sobre [001]) son mutuamente idénticos,
 - d) los espaciados según las oblicuas de los ejes k y l (de la segunda radiografía, ecuatorial, con eje de giro [100]):
- 1º son asimismo idénticos los de la oblicua del eje medio de la nueva placa, que por ello se designa k;
 - 2º mas resultan aparentemente diferentes de los registrados en la oblicua que señala la posición del eje l: el nivel 14º de h coincide con el nivel 10º de l. En consecuencia, si para h se determinó anteriormente un espaciado de 15'186 Å, el espaciado para l sería de $c_0 = 21'260 \text{ Å}$.

De estas radiografías se podría deducir que el cristal fuera realmente tetragonal, con las siguientes constantes:

$$\begin{aligned} a_0 = b_0 = 15'186 \text{ Å} & ; c_0 = 21'260 \text{ Å} \\ c_0 : a_0 = 1'3999 & \\ a_0 : c_0 = 1 : 0'7143 & \end{aligned}$$

mas no así de hecho:

Esta relación paramétrica hallada de $c_0 : a_0 = 1'3999$ resulta en verdad muy sorprendente, pues viene a coincidir con la morfológica determinada por Friedel y citada en Dana (1957), mas con una orientación diferente de la forma. Con todo, no es para desconcertar, puesto que puede tenerse como la propia de una celda cuádruple. Confirmación de esto es el hecho de que repitiendo los cálculos de la forma cuadrática con base en estos parámetros, no se la halla coincidente con el diagrama de polvo, como se la halló mediante la hipótesis de la celda cúbica, según se expuso con anterioridad.

GRUPO ESPACIAL:

$$O^1 - P43 - C_2^1$$

Hadding (1919) se limitó a obtener un diagrama de Laue, numerando únicamente sus reflejos.

Gossner y Arm (1930) fueron los primeros en intentar la elección del grupo espacial para la boleíta, y aún pretender cierta localización del contenido atómico de su celda. El aspecto del lauegrama que lograron es el de un cristal cúbico; aunque también podría ser propio de una forma tetragonal obtenido sobre (001): apelan a la decisión de otras observaciones, tales como las de su relación paramétrica. Este parecer está conforme con el aspecto cúbico de los ejemplares estudiados, los que interpretan aquellos autores precisamente como holoédricos, se deciden por el grupo $O_h^1 - P m 3 m$.

Hocart (1934), se extiende en algunas consideraciones sobre la presencia de ciertos reflejos, que obtiene en sus diagramas de Laue y de cristal giratorio (se hallan reproducidos en su publicación).

I

Colocamos los reflejos identificados por Hadding (1919), analizándolos en el siguiente cuadro comparativo:

i00	—
p00	—
ii0	501
ip0	401, 10.0.1, 11.0.2
pp0	—
h _i h _i 0	—
h _p h _p 0	—
iii	511, 531, 551, 731, 771, 911, 951, 11.1.1, 11.7.3, 11.11.3, 15.7.3
iip	611, 811
ipp	661, 922, 10.10.1, 11.6.2
ppp	—
h _i h _i i	115, 119, 11.1.1, 11.11.3
h _i h _i z	118, 116
h _i h _i v	118
h _p h _p i	229, 10.10.1
h _p h _p z	—
h _p h _p v	—

En este cuadro, como en los siguientes, además de las letras de significado habitual, se colocan la z y la v, que representan múltiplos de dos y de cuatro respectivamente.

Prescindimos de los comentarios adicionales sobre la tabla expuesta, ya que Hadding no los hace, y preferimos reservarlos para nuestra determinación del grupo espacial.

II

Disposición de las manchas de Laue numeradas por Gossner y Arm (1930), para determinar el grupo espacial:

i00	001, 003, 005, 007
p00	002, 004, 006, 008
ii0	330, 550, 770, 310, 510, 530, 730, 750
ip0	210, 320, 520, 430, 540, 630, 720, 850, 830, 940, 920, 10.1.0
pp0	220, 440, 660, 880, 420, 640, 620, 840
h_1h_10	330, 550, 770
$h_p h_p 0$	220, 440, 660, 880
iii	311, 511, 533, 733, 551, 531
iip	211, 411, 611, 332, 552, 996, 321, 431, 521, 532, 543, 752, 831
ipp	522, 544, 443, 421, 621, 632, 652, 643, 841, 832
ppp	422, 622, 822, 662, 886, 842
h_1h_1i	551, 335, 337
h_1h_1z	552, 996, 112, 116, 332
h_1h_1v	114
$h_p h_p i$	225, 445, 443
$h_p h_p z$	226, 662, 886
$h_p h_p v$	224, 228

Los números en gravilla en esta tabla son los que forman índices comunes entre ese lauegrama de Gossner y los nuestros de Weissenberg, cual se expone más adelante.

Gossner y Arm opinan que por la presencia de los reflejos registrados, puede pertenecer el cristal a los grupos 1 de las clases del sistema cúbico (a cualquiera de ellas); si bien por la simetría del lauegrama se han eliminado las T_1 y T_h , quedando como únicamente posibles las T_d , O , y O_h . Hemos de hacer notar, no obstante, que al citar manchas de los tipos h_1h_1v y $h_p h_p v$ con uno de los índices múltiplos de cuatro, se ha de excluir el grupo O_h^+ . Por lo tanto, quedan como únicamente probables las T_d y O .

Creemos no merecen tenerse en cuenta las consideraciones de elección del grupo espacial que hacen a base de las 9 moléculas de $3 PbCl_2$, $3 CuO_2H_2$, $AgCl$, en cuanto vuelven a dar momentáneamente beligerancia a los grupos anteriormente excluidos.

III

Hocart (1934) interpreta sus diagramas y hace la crítica de los publicados cuatro años antes por los autores vieneses, con la tendencia manifiesta de probar la tetragonalidad de la celda elemental de boleíta, tan defendida por Friedel, de quien era entonces auxiliar en su laboratorio.

Sus lauegramas comportan un eje cuaternario y 4 planos mutuamente perpendiculares, bisectrices dos a dos. En un diagrama sobre una laminilla de exfoliación octaédrica halla cierta asimetría: justifica este hecho atribuyéndolo a irregularidades de absorción. Logra además otros diagramas de cristal giratorio. Con esos reflejos asimétricos con respecto al eje cuaternario de la placa, se trataría de un cristal monoclinico.

Los reflejos que reconoce se pueden colocar en este cuadro comparativo:

i00	003, 005, 007. Son nulas las 500 y 700, que podrían estar. No existen las 0.0.13, ni 0.0.15
p00	004, 006, 008, 0.0.12, 0.0.16, 0.0.20, 0.0.18, 0.0.22, 0.0.26. Observa que siendo fuertes las manchas 400, 600, 800 deberían ser equivalentes a las 004, 006, 008.
ii0	510, 503, 505, 5.0.13, 5.0.15, 510. Son semejantes a esta serie 50i las de las curvas 7 y 9.
ip	—
pp0	2.0.12, 2.0.14, 2.0.16
h_1h_10	550
$h_p h_p 0$	—
iii	—
iip	5.1.12, 5.1.16
ipp	—
ppp	—
h_1h_1i	—
h_1h_1z	—
h_1h_1v	—
$h_p h_p i$	—
$h_p h_p z$	—
$h_p h_p v$	—

Los símbolos en grasilla en esta tabla indican las manchas que el autor señala como intensas (fuertes y muy fuertes). Deduce que todos los reflejos citados se hallan concordes con una red centrada, aunque haya manchas débiles cuales las 509 ó 519 de notación dudosa.

Siempre dentro de su punto de vista de un cristal tetragonal, y admitiendo una red centrada, cree designar como más probable el grupo D_{4h}^{17} (I 4/m m m). Los grupos 18 y 20 de esta misma clase quedan excluidos por los numerosos reflejos $i0i, \dots$; así como los grupos 19 y 20 por la presencia de los reflejos $ii0$.

Admitiendo la fórmula de Friedel, $9 PbCl_2 \cdot 8 CuO \cdot 3 AgCl \cdot 9 H_2O$ con $Z = 12$, halla una distribución incompatible en el grupo D_{4h}^{20} .

IV

En las tablas que siguen se expone la distribución analítica de los reflejos que numeramos en nuestros diagramas de Weissenberg (subrayando los de intensidades media a fuerte, como determinados con mayor seguridad).

Ecuador: nivel 0

i00	0.3.0 0.5.0 0.7.0 0.9.0 3.0.0 5.0.0 7.0.0 0.11.0 0.13.0 0.17.0
p00	0.4.0 0.6.0 0.8.0 0.10.0 0.12.0 0.14.0 0.16.0 0.18.0 4.0.0 6.0.0 8.0.0 10.0.0 12.0.0. 14.0.0. 16.0.0 18.0.0
ii0	3.5.0 5.3.0 5.5.0 5.13.0 11.11.0 11.15.0 13.5.0 15.11.0 1.9.0 1.11.0 1.13.0 1.17.0 3.1.0 3.3.0 3.7.0 1.3.0 3.9.0 3.13.0 3.15.0 5.7.0 5.9.0 5.11.0 5.15.0 5.17.0 7.3.0 7.5.0 7.7.0
ip0	2.5.0 2.15.0 3.8.0 3.10.0 4.5.0 5.2.0 5.4.0 5.10.0 5.16.0 5.18.0 7.10.0 8.3.0 8.13.0 8.15.0 8.17.0 10.3.0 10.5.0 10.7.0 11.12.0 11.16.0 12.11.0 12.13.0 13.12.0 15.2.0 16.5.0 17.8.0 4.17.0 6.3.0 6.7.0 6.13.0 6.17.0 7.6.0 1.8.0 1.10.0 1.12.0 2.3.0 2.13.0 3.2.0 3.6.0 3.12.0 3.18.0 4.11.0 4.15.0
pp0	2.8.0 2.10.0 2.14.0 2.18.0 4.4.0 4.6.0 4.8.0 4.10.0 4.12.0 4.14.0 4.18.0 6.4.0 6.6.0 6.10.0 6.14.0 6.18.0 8.2.0 8.4.0 8.8.0 8.12.0 8.14.0 8.18.0 10.2.0 10.4.0 10.6.0 10.10.0 10.14.0 10.16.0 12.4.0 12.8.0 12.12.0 12.14.0 14.2.0 14.4.0 14.6.0 14.8.0 14.10.0 14.12.0 16.10.0 18.2.0 18.4.0 18.6.0 2.2.0 2.4.0 2.12.0 2.16.0 4.2.0

h_1h_10	5.5.0 11.11.0 3.3.0 7.7.0 9.9.0
$h_p h_p 0$	4.4.0 6.6.0 8.8.0 10.10.0 12.12.0 2.2.0
iii	
iip	
ipp	
ppp	
$h_i h_i i$	
$h_i h_i z$	
$h_i h_i v$	
$h_p h_p i$	
$h_p h_p z$	
$h_p h_p v$	

1er. nivel

i00	
p00	
ii0	0.27.1 27.0.1
ip0	0.6.1 0.10.1 0.14.1 0.18.1 0.22.1 6.0.1 10.0.1 14.0.1 18.0.1 24.0.1 22.0.1 0.4.1 0.8.1 0.12.1 4.0.1 8.0.1 12.0.1 16.0.1
pp0	
$h_i h_i 0$	
$h_p h_p 0$	
iii	13.3.1 1.9.1 1.13.1 1.17.1 3.13.1 5.7.1 5.9.1 5.17.1 5.19.1 7.5.1 9.1.1. 9.5.1 9.7.1 9.9.1 9.21.1 11.11.1 13.5.1 13.7.1 13.13.1 13.15.1 13.23.1 17.1.1 17.5.1 17.9.1 17.17.1 19.1.1. 19.5.1 9.9.1 19.17.1 21.13.1

iip	4.27.1 6.13.1
ipp	2.8.1 4.8.1 4.10.1 4.18.1 4.22.1 8.2.1 8.4.1 8.10.1 8.14.1 8.18.1 8.22.1 10.4.1 10.8.1 10.12.1 12.10.1 14.4.1 16.18.1 18.4.1 18.8.1 22.4.1 4.14.1 6.8.1 6.14.1 6.16.1 8.6.1 8.12.1 10.10.1 10.16.1 12.8.1 12.14.1 12.18.1 12.22.1 14.12.1 14.16.1 16.4.1 16.6.1 16.8.1 16.10.1 16.14.1 18.10.1 18.12.1 18.16.1 20.10.1 22.14.1 22.12.1
h _i h _i i	1.9.1 9.1.1. 9.9.1 11.11.1 13.13.1 17.1.1 17.17.1 19.1.1
h _i h _i z	
h _i h _i v	
h _p h _p i	10.10.1
h _p h _p z	
h _p h _p v	
2º Nivel	
i00	
p00	
ii0	
ip0	
pp0	0.4.2 0.8.2 0.10.2 0.12.2 0.20.2 4.0.2 10.0.2 12.0.2 8.0.2 20.0.2 24.0.2 6.0.2 16.0.2 26.0.2 0.24.2 0.26.2
h _i h _i 0	
h _p h _p 0	10.10.2 14.14.2
iii	
iip	1.15.2 5.5.2 5.7.2 5.9.2 5.13.2 5.17.2 5.19.2 7.3.2 7.5.2 13.5.2 15.1.2 15.9.2 15.15.2 17.5.2 19.5.2 1.5.2 1.17.2 1.21.2 3.3.2 3.7.2 3.13.2 3.15.2 5.1.2 5.3.2 5.11.2 5.15.2 5.19.2 7.13.2 9.11.2 9.13.2 9.15.2 9.17.2 9.21.2 11.5.2 11.9.2 11.21.2 13.1.2 3.7.2 13.9.2 13.13.2 13.15.2 13.17.2 13.23.2 15.3.2 15.5.2 15.11.2 17.1.2 17.9.2 17.13.2 19.11.2 21.1.2 21.9.2 21.11.2 21.15.2 21.21.2 23.3.2 23.9.2 23.13.2 25.1.2 25.3.2 1.25.2 3.25.2

ipp	9.4.2 23.8.2 2.13.2 4.11.2 15.14.2 15.22.2 5.26.2 26.3.2
ppp	6.2.2 6.10.2 6.14.2 8.4.2 8.8.2 8.22.2 16.4.2 16.12.2 16.16.2 16.20.2 18.4.2 18.12.2 18.14.2 18.18.2 20.4.2 20.8.2 20.16.2 22.8.2 22.10.2 4.8.2 4.16.2 4.18.2 4.20.2 10.6.2 10.10.2 10.14.2 10.22.2 12.18.2 14.6.2 14.10.2 14.14.2 14.18.2 2.10.2 2.12.2 4.4.2 4.10.2 4.12.2 6.8.2 8.2.2 8.6.2 8.14.2 8.20.2 10.2.2 10.16.2 10.20.2 12.2.2 12.4.2 12.16.2 14.4.2 14.8.2 14.22.2 16.10.2 20.10.2 20.12.2 22.2.2 22.14.2 26.6.2 6.26.2
h _i h _i z	5.5.2 15.15.2 21.21.2 13.13.2 3.3.2
h _i h _i v	
h _p h _p i	2.13.2
h _p h _p z	6.2.2 8.8.2 16.16.2 18.18.2 2.10.2 2.12.2 4.4.2 8.2.2 10.2.2 12.2.2 22.2.2
h _p h _p v	2.12.2 8.2.2. 12.2.2

Con base en todas esas observaciones y en la distribución analítica de los reflejos obtenidos por nuestros diagramas de Weissenberg, creemos lícito admitir como grupo espacial probable para la celda elemental de boleíta el $O^1 - P 43$, primero de la hemiedría cúbica enantiomórfica.

En efecto: el examen de las tablas anteriores de los reflejos numerados nos lleva a las siguientes conclusiones:

A. Se trata de una *celda P* sencilla, quedando así excluidos los grupos que comportan otra clase de red.

B. Presencia de los 7 primeros tipos de reflejo:

a) Por hallarse presentes los reflejos de tipo:

i00	ii0	h _i h _i 0
p00	ip0	h _p h _p 0
	pp0	

el cristal ha de pertenecer a los grupos 1 de cada una de las 5 clases cúbicas

$$T^1 \quad T_h^1 \quad T_d^1 \quad O^1 \quad O_h^1$$

b) También podría ser de las clases O^6 y O^7 , mas por la condición de tener una celda P, quedan fuera de consideración.

C. Presencia de los reflejos tipo 8 a 11:

a) Se excluye el grupo 0_h — aunque sea precisamente el postulado por Gossner y Arm — por la presencia de los tipos de reflejo iip e ipp, quedando como posibles los demás:

$$T^1 \quad T_h^1 \quad T_d^1 \quad 0^1.$$

b) Hacen notar estos autores que por la simetría de los lauegramas obtenidos, se elimina la posibilidad de considerar los grupos T y T_h .

c) En cuanto a la decisión entre los grupos T_d y 0 restantes, no siendo posible a base de extinciones de los radiogramas, se habrá de basar en la acomodación del complejo molecular dentro de la celda, obedeciendo a los grados de libertad que le imponen sus elementos peculiares de simetría.

2 Aparte de esto, es bueno recurrir aquí a la ayuda que puede obtenerse de las consideraciones hechas sobre la morfología extensa del cristal (Cf pág. 43), que nos parece decisiva.

Aunque el estudio de esta hipótesis estructural será objeto de la segunda parte del trabajo, podemos adelantar por ahora la opción por el segundo de los grupos postulados: $0^1 - P43 - C_2^1$.

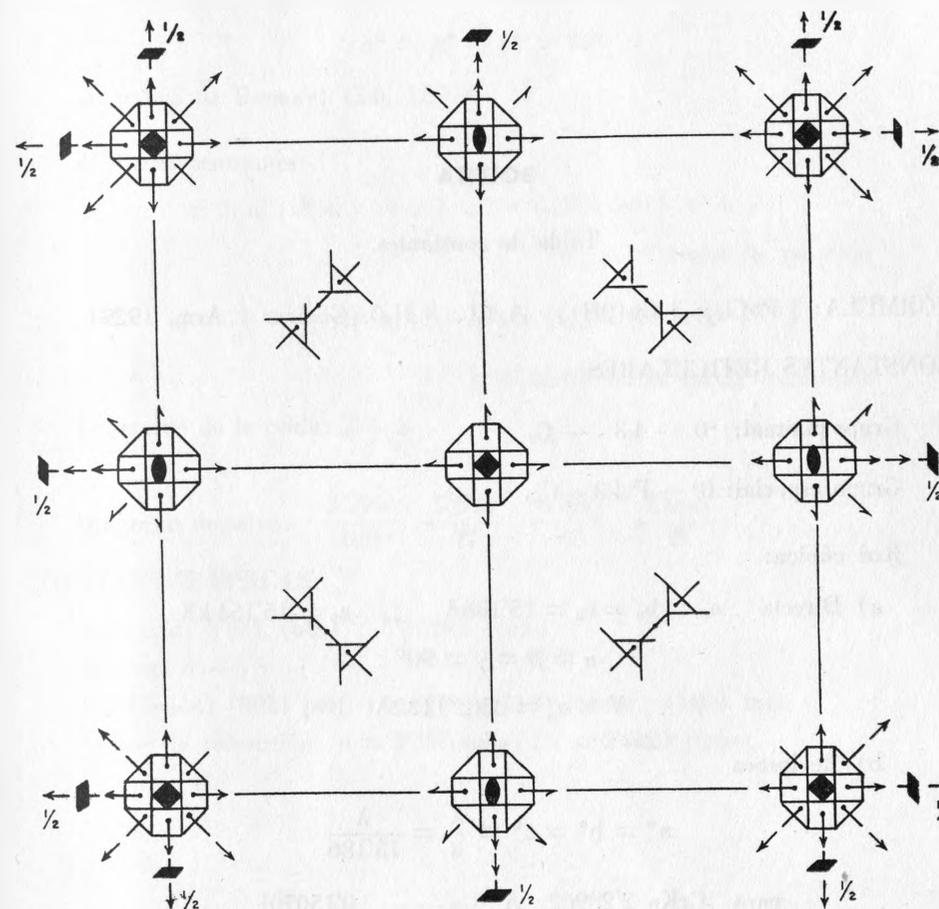


FIG. 30. Esquema de la celda elemental correspondiente al grupo espacial asignado a la boleita.

- | | | | |
|--------------|-----------------|----------------|------------------|
| ◆ 2 vertical | → 2 horizontal | ↔ 4 horizontal | ⊗ 3, inclinado |
| ◆ 4 vertical | → 2, horizontal | ⊗ 3 inclinado | ⊗ 3, 2 inclinado |

BOLEITA

Tabla de constantes.

FORMULA: $3 \text{PbCl}_2 \cdot 3 \text{Cu(OH)}_2 \cdot \text{AgCl} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ (Gossner y Arm, 1929).

CONSTANTES RETICULARES:

Grupo puntual: $0 - 43 - C_2$

Grupo espacial: $0^1 - P 43 - C_2^1$.

Red cúbica:

a) Directa $a_0 = b_0 = c_0 = 15'186 \text{Å}$; $a_0 = 15'154 \text{kX}$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

$$V = a_0^3 = 3502'1132 \text{Å}^3$$

b) Recíproca

$$a^* = b^* = c^* = \frac{\lambda}{a} = \frac{\lambda}{15'186}$$

para	CrK α 2'28962	Å	— — —	0'150701
	MnK α 2'10175			0'138400
	FeK α 1'93597			0'127483
	CoK α 1'78892			0'117800
	NiK α 1'65784			0'109168
	CuK α 1'54051			0'101442
	ZnK α 1'43511			0'094502
	MoK α 0'70926			0'046704
	RhK α 0'61325			0'040382
	PdK α 0'58542			0'038549
	AgK α 0'55936			0'036833

Propuestas en vol. III de Internat. Tables for X Ray Crsytallography

$$\alpha^* = \beta^* = \gamma^* = 90^\circ$$

c) Indice de Donnay: Cúb. 15'186

d) Otras constantes:

$$r^2 = a^2 (x^2 + y^2 + z^2) = 230'61459 (x^2 + y^2 + z^2)$$

r = vector de posición

$$Q = \frac{1}{d^2} = \frac{1}{a^2} (h^2 + k^2 + l^2) = 0'4336 (h^2 + k^2 + l^2)$$

Q = factor de la forma cuadrática

Contenido de la celda: Z = 8

Diagrama de polvo: $\frac{3'795}{100}$ $\frac{2'685}{77}$ $\frac{4'380}{63}$ $\frac{5'065}{27}$

CONSTANTES FISICAS:

Densidad: 5'031 (obs) ; 5'02283 (calc)

Dureza: 3 — 3'5

Exfoliación: (001) perf. ; (101) y (410) buena ; (100) imp.

Indice de refracción: n = 2'063 (obs) ; n = 2'0283 (calc)

BIBLIOGRAFIA

Esta relación bibliográfica prefiere la ordenación de los trabajos por fechas de su publicación, para facilitar la apreciación de la sucesión histórica habida en el estudio del mineral.

MALLARD. E. y CUMENGE. E (1891 a).

Sur une nouvelle espèce minérale, la Boléite.

Comt. Rend. Acad. Scienc. Paris 113(1891)519-524.

Groth's Ztchr. 22(1891)579.

MALLARD E. Y CUMENGE. E. (1891 b).

Sur une nouvelle espèce minérale, la Boléite.

Bull. Soc. franc. Minéralogie 14(1891)282-293.

Esta nota difiere sólo por algunas adiciones a la presentada ante la Acad. de Ciencias (Mallard y Cumenge, 1891 a).

SCHULZE. (1892).

Chem. Ztg. 16(1892)1953.

CUMENGE. E. (1893).

(Basse Californie, Mexique).

Sur un espèce minérale nouvelle découverte dans le gisement de cuivre du Boleo

Compt. Rend. Acad. Scienc. Paris 116(1893)898-900.

Resumen de O. Mügge, en Neues Jahrb. f. Min. 1(1895)10.

Groth's Zeitschr. 25(1894)305.

GENTH. F. A. (1893).

Contributions to Mineralogy. No. 55. On the "Anglesite", associated with Boleite.

Ames. Journ. Science. (III) 45 (1893) 32-33.

Resumen de F. Rinne, en Neues Jahrb. f. Min. 1(1895)10.

MALLARD E. (1893).

Sur la Boléite, la Cumengéite et la Percylite (sic. = Pseudoboléite).

Bull. Soc. franc. Min. 16(1893)184-195.

Resumen de O. Mügge, en Neues Jahrb. f. Min. 1(1895)9.

BEAUGRAND. C. (1894).

Les Boléites.

Soc. Geol. Normandie. Bull. 16(1894)68-69.

CARMICHAEL Y ARMSTRONG (1894), en Liversidge.

Journ. Roy. Soc., New South Wales. 94(1894)98.

LIVERSIDGE. A. (1894).

Boleite, Nantokite, Kerargirite and Cuprite from Broken Hill. N. S. Wales.

Journ. & Proc. Roy. Soc. N. South Wales. 28(1894)94.

FRIEDEL. G. (1894).

Sur la Boléite artificielle.

Bull. Soc. Franc. Min. 17(1894)6.

Groth's Zeitschr. 25(1894)306.

GRAMONT. M. A. de 1895)

Analyse spectrale directe des Minéraux.

Bull. Soc. Franc. Min. 18(1895)171-373.

(La boleíta y la cumengeíta en págs. 359-360).

LACROIX (1895).

Bul. Museum Hist. Naturelle. 39.2(1895).

WALLERANT. F. (1898).

Théorie des anomalies optiques, de l'isomorphisme et du polymorphisme.

Bul. Soc. Franc. Min. 21(1898)188.

FRIEDEL. G. (1906).

Contribution à l'étude de la boléite et des ses congénères.

Bull. Soc. Franc. Min. 29(1906)14-55.

HINTZE. C. (1915).

Handbuch der Mineralogie 1 (2B) (1915)2645.

Berlin y Leipzig (1889-1939).

HADDING. A. (1919).

Beitrag zur Kenntnis des Boleits und des Cumengits.

Geol. Fören. Stockholm Förhandl. 41.2(1919)175-192.

GOLDSCHMIDT. V. (1920).

Atlas der Krystallformen des Mineralien. 6(1920)129.

Heidelberg (1913-1923).

LARSEN, E. S. (1921).

The Microscopic Determination of the nonopaque Minerals.

U.S. Geol. Surv. Bull. 679(1921)49.

GOSSNER. B. (1928).

The Crystal form of Boléite (Trad. del alemán: L.S. Ramsdell)

Amer. Min. 13.12(1928)580-582.

Resumen: Strukturbericht 1(1931)477.

GOSSNER. B. y ARM. M. (1929).

Chemische und röntgenographische Untersuchungen an Stoffen und Kristallen von komplexer Bauart.

Zeit. f. Krist. 72(1929)202-236. El grupo de minerales de la boleíta, en las págs. 218-231.

Resumen: Strukturbericht 2(1937)365-366.

FRIEDEL. G. (1930).

Sur la Boléite, la Pseudoboléite et la Cumengéite. Réponse a MM. Gossner et Arm, Zeit. f. Krist. 72(1929)218-231.

Zeit. f. Krist. 73(1930)147-158.

Resumen: Strukturbericht 2(1937)366.

HOCART. R. (1930).

Sur la détermination des paramètres de la boleíta, de la pseudoboleíta et de la cumengeíta, au moyen des rayons X.

Zeit. f. Krist. 74(1930)20-24.

Resumen: Strukturbericht 2(1937)367.

HOCART. R. (1934).

Contribution à l'étude de quelques cristaux à anomalies optiques.

Bull. Soc. Franc. Min. 57(1934)5-127. (Boleíta en págs. 34-61).

GOSSNER. B. (1930).

Ueber Boleit, pseudoboleit und Cummengait. Bemerkungen zu swei Abhandlungen von Friedel (1930) bzw. Hocart (1930) über den gleichen Gegenstand.

Zeit. f. Krist. 75(1930) 365-367.

WALDO. A. W.

Identification of the Copper Ore Minerals by means of X-Ray Powder Patterns.

Am. Min. 20.8(1935)575-597.

STRUNZ. H. (1949).

Mineralogische Tabellen.

Akademische Verlagsgesellschaft. Leipzig (1949). 2ª Ed.

El grupo de la boleíta en pág. 101.

PALACHE. C., BERMAN. H. y FRONDEL. C. (1951).

The System of Mineralogy of James D. Dana and E. S. Dana. Yale University, 1837-1892. Vol. II, 7ª Ed. (1957).

J. Wiley. New York (1957).

La Boleíta en pág. 78.

DONNAY. J. D. H. (1954).

Identification of Crystalline Substances for Cell Dimensions. Part. II Determinative Tables.

Geolog. Society of America. Mem. 60(1954).

CONGRESO GEOLOGICO INTERNACIONAL, XX (1956).

Geología Minera del Noroeste de México. Depósitos de cobre de Cananea, Son., y de cobre y manganeso de El Boleo y Lucifer, Baja California.

Excursiones A-1 y C-4, del Congreso. México (1956).

DANA (1957).

Dana's System of Mineralogy.

Véase: Palache, Berman y Frondel (1951).

WILSON. I. F. y ROCHA. V. S. (1957).

Geología y depósitos minerales del Distrito Cuprífero de El Boleo, Baja California, México.

Inst. Nal. Invest. Rec. Min., Bol. 41 (1957).

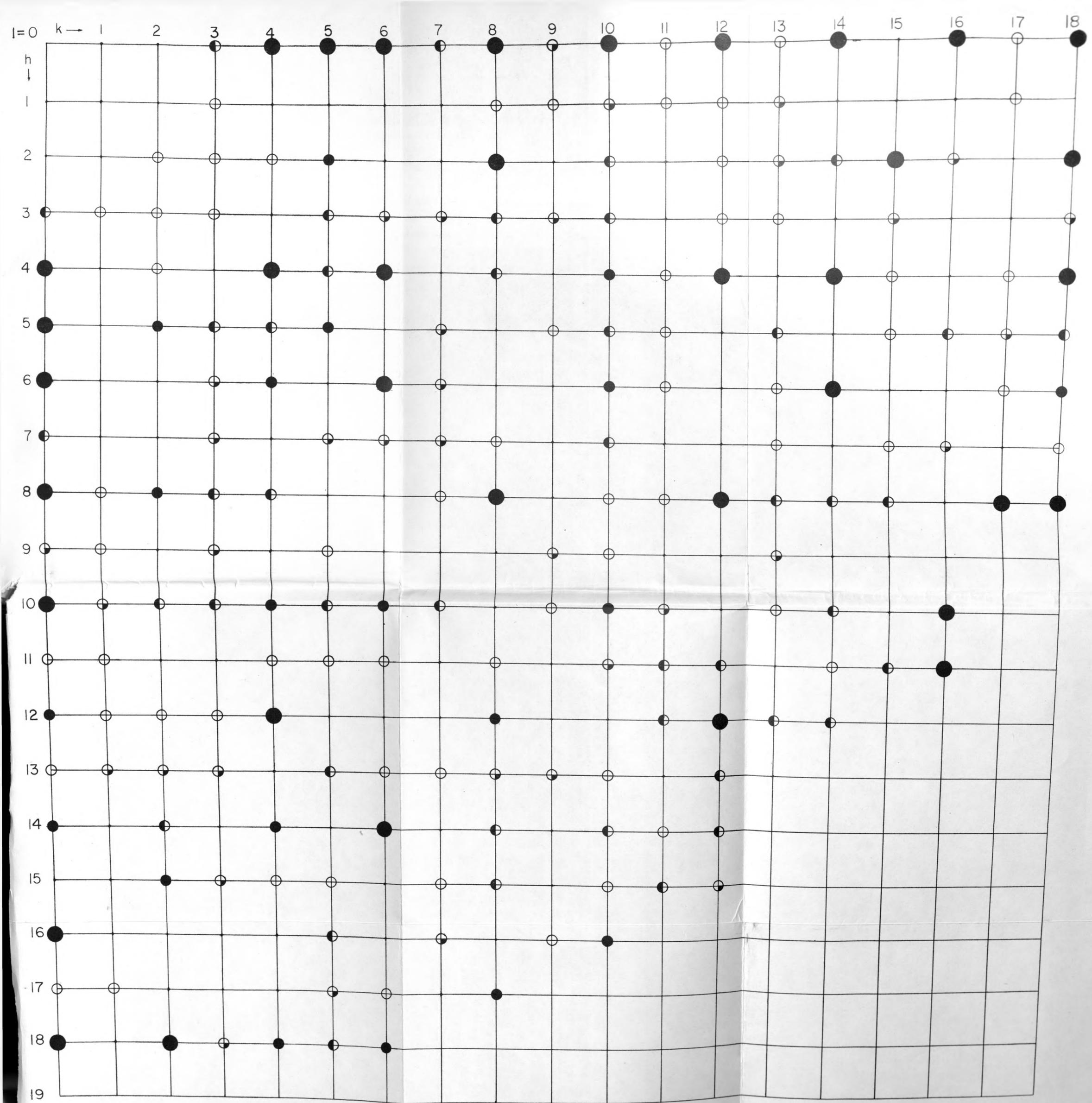
Se terminó de imprimir el día 30 de diciembre de 1963 en los Talleres Gráficos de la EDITORIAL INTERCONTINENTAL, S. A., Calle Geranio N° 262, Col. Sta. María Insurgentes. México 4, D. F.

BOLETINES DISPONIBLES DEL INSTITUTO DE GEOLOGIA

Para su adquisición, diríjase a:

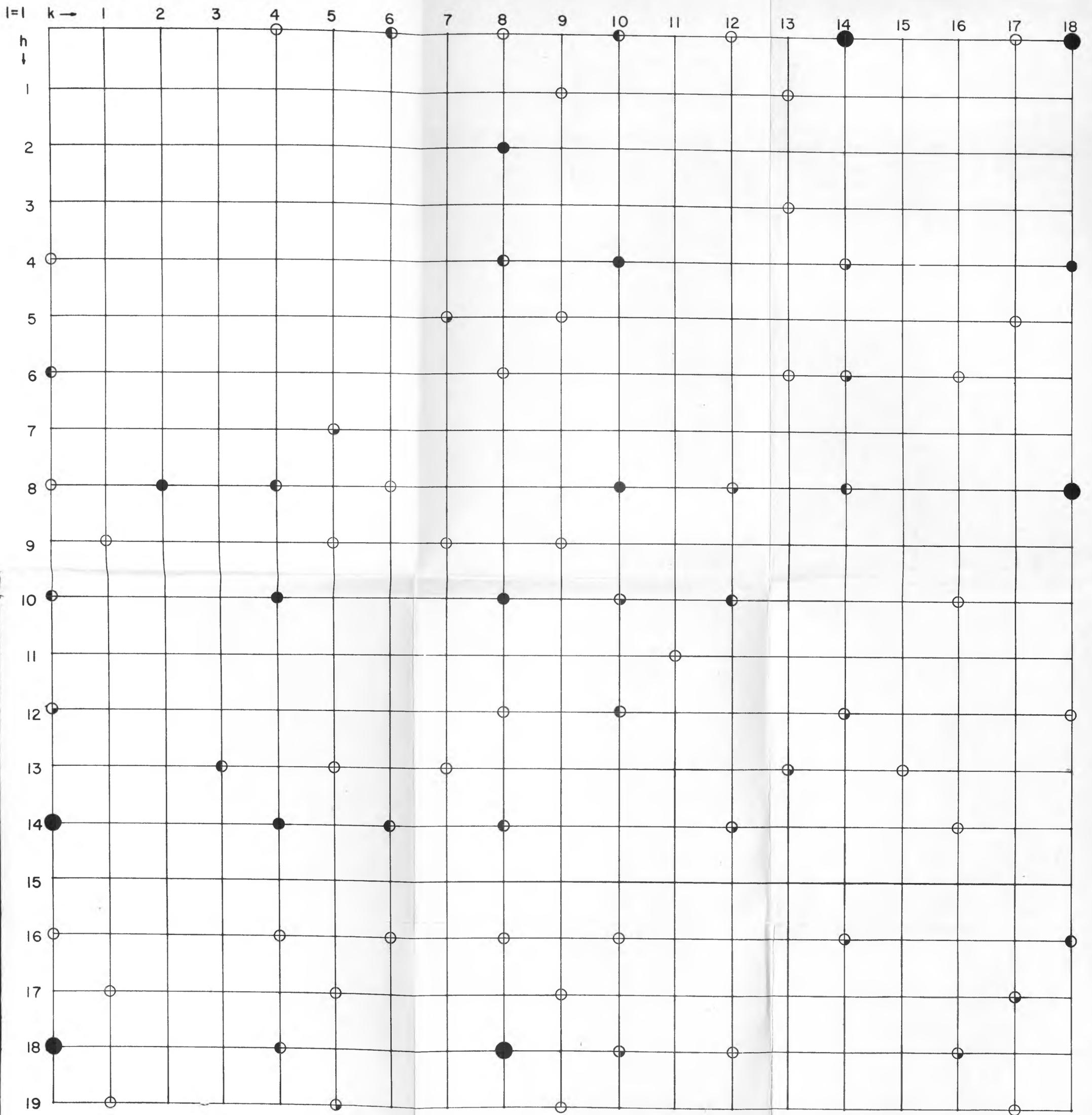
Oficina de Publicaciones
Instituto de Geología
Ciudad Universitaria
México 20, D. F.
MEXICO

- 50.—Las meteoritas mexicanas; generalidades sobre meteoritas y catálogo descriptivo de las meteoritas mexicanas. *J. C. Haro*. 86 p., 23 láms., 5 figs. 1931. \$50.00 M.N. o \$5.00 Dlls.
- 51.—Zonas mineras de los Estados de Jalisco y Nayarit. *Tomás Barrera*. 96 p., 2 láms., 9 planos, 30 fotos. 1931. \$50.00 M.N. o \$5.00 Dlls.
- 52.—Agotado.
- 53.—Topografía sepultada, estructuras iniciales y sedimentación en la región de Santa Rosalía, Baja California. *I. F. Wilson*. 78 p., 1 lám., 11 figs., 3 tablas. 1948. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 54.—Paleontología y estratigrafía del Plioceno de Yepómera, Estado de Chihuahua; Pte. 1—Equidos, excepto *Neohipparion*. *J. F. Lance*, 81 p., 5 láms., 10 figs., 17 cuadros. 1950. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 55.—Los estudios paleobotánicos en México, con un catálogo sistemático de sus plantas fósiles. *Manuel Maldonado-Koerdell*. 72 p., 1950. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 56.—Las provincias geohidrológicas de México; Pte. 1—Agotada; Pte. 2—Síntesis de la hidrología superficial de la República. *Alfonso de la O-Carreño*. 166 p., 8 láms., 2 figs., 5 tablas. 1954. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 57.—Espeleología mexicana; cuevas de la Sierra Madre Oriental en la región de Xilitla. *Federico Bonet*. 96 p., 11 láms., 20 fotos., 3 figs., 2 tablas. 1953. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 58.—Geología y paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora; Pte. 1—Paleontología y estratigrafía del Cámbrico de Caborca. *G. A. Cooper, A. R. V. Arellano, J. H. Johnson, V. J. Okulitch, Alexander Stoyanow y Christina Lochman*. 258 p., 33 láms., 7 figs., 4 tablas. 1954. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 59.—Pte. 1—Los depósitos de bauxita en Haití y Jamaica y posibilidades de que exista bauxita en México. *G. P. Salas*. P. 1-42, 1 lám., 15 figs., 1 tabla. Pte. 2—Exploración en busca de bauxitas en Paso de Acultzingo, Ver., y parte del valle de Tehuacán, Pue. *Federico Mooser y Odilón Ledezma*. P. 43-51, 1 lám. Pte. 3—Exploración en busca de bauxitas en los límites de los Estados de Puebla y Veracruz. *Federico Mooser, Odilón Ledezma y Federico Mayer*. P. 53-69, 2 láms., 19 figs. Pte. 4—Exploración en busca de bauxitas en la zona de Tuxtepec, Oax. *Odilón Ledezma*. P. 71-80, 2 láms., 19 figs. Pte. 5—Exploración en busca de bauxitas en la zona de Temaxcal, Oaxaca. *Federico Mayer*. P. 81-93, 18 figs. Pte. 6—Muestreo de lateritas a lo largo de la carretera entre Tulancingo, Hgo., y Nexaca, Pue., para la investigación de bauxitas. *Rafael Pérez-Siliceo*. P. 95-104, 1 lám., 7 figs. Pte. 7—Clasificación basada en el análisis térmico diferencial de materiales arcillosos colectados en diferentes regiones del país. *Eduardo Schmitter*. P. 105-111, 5 figs. 1959. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 60.—Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. *Carl Fries, Jr.* 236 p., 24 láms., 4 figs., 1 tabla. 1960. \$40.00 M. N. o \$4.00 Dlls.



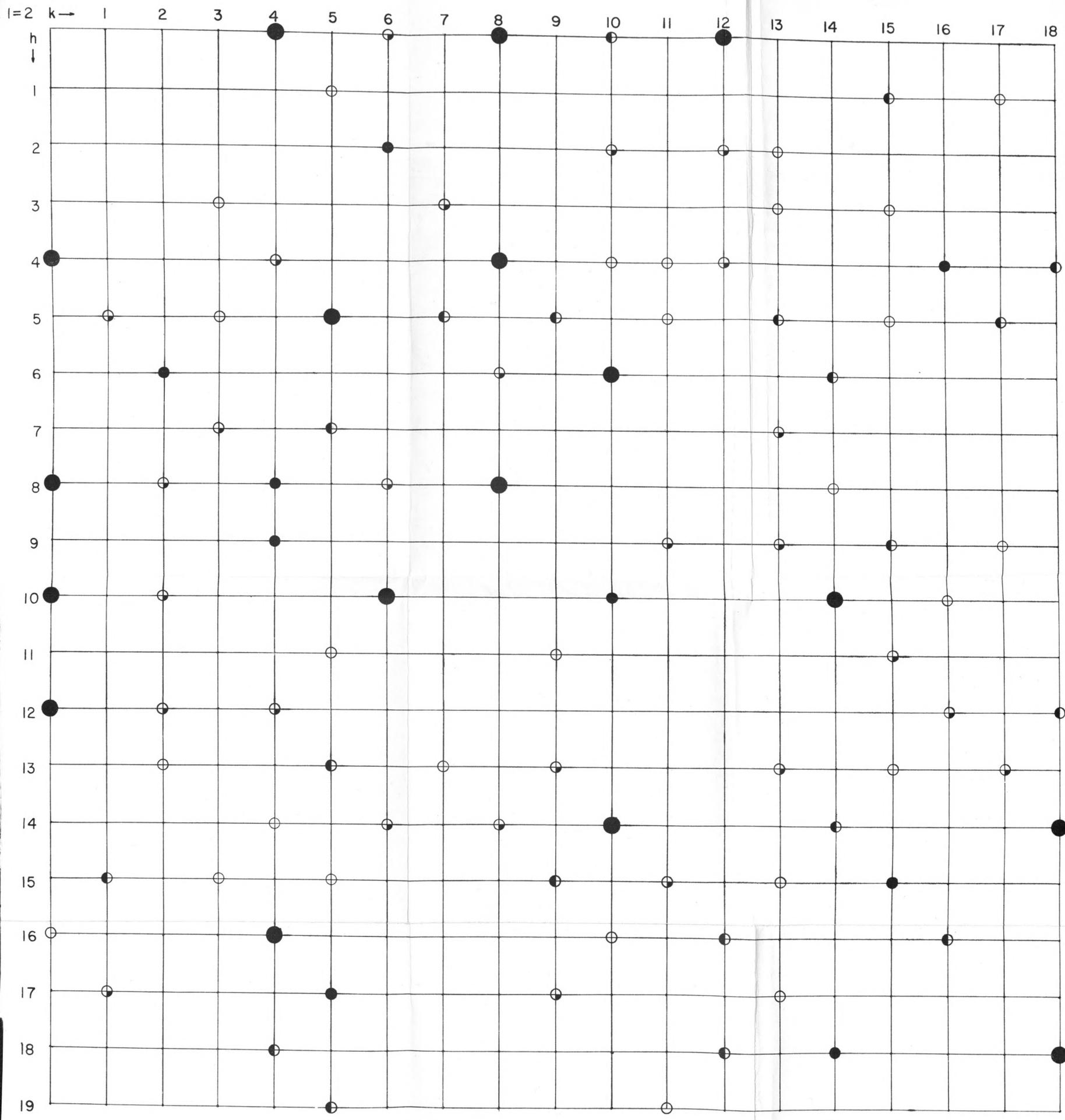
● ff ● f ◑ m ◑ d ○ dd

Fig. 26.—Cuadro de numeración del diagrama ecuatorial normal de Weissenberg, de una barrita cilíndrica tallada según 001, que se elige como eje de giro.



● ff ● f ● m ⊖ d ○ dd

Fig. 27.—Esquema del diagrama de Weissenberg, equi-inclinación 1° nivel. Barra cilíndrica tallada según 001, eje de giro.



● ff - ● f ○ m ○ d ○ dd

FIG. 28.—Red recíproca de Weissenberg, equi-inclinación 2° nivel. Barrita cilíndrica tallada por su eje de giro, 001.