UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO INSTITUTO DE GEOLOGIA

87

DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

Boletín 78

LOS MINERALES MEXICANOS

4. CUMENGEITA

(Morfología)

FRANCISCO J. FABREGAT G., Dr. C.



M E X I C O 1966 CLASIF. ADOUIS. F-F-3-3 FECHA. PROCED.

87

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	VII
SINOPSIS	1
ESTUDIO CRITICO	11
Nombre	15
Sinonimia	15
Etimología	15
Posición sistemática	16
Primera publicación	17
Noticia histórica	17
Yacimiento típico	19
Localidades	19
Ejemplares estudiados	19
Forma cristalina: hábito	21
Cristalometría	22
Relación paramétrica	27
Matrices de Bond	28
Gnomonograma	29
Trazado de la forma cristalina	30
Coordenadas esféricas bipolares	32
Indice de Barker	33
Indice de Donnay	34
Cristalización artificial	35
Cristales complejos	35

Minerales análogos	36
Exfoliación	38
Propiedades ópticas	38
Color	39
Raya, polvo	39
Transparencia	39
Lustre	39
Luminiscencia	40
Pleocroísmo	40
Densidad	40
Dureza	41
Comportamiento químico	41
Composición química: fórmula	42
Análisis espectroscópico	44
Análisis por fluorescencia de rayos X	45
Mineralogénesis	45
Roentgenogramas por difracción	46
Diagrama de polvo	46
Forma cuadrática	50
Dimensiones de la celda elemental	55
Contenido de la celda elemental	62
Grupo de traslación	63
Grupo espacial	63
Bibliografía	66

87

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla de los ángulos interfaciales de cumengeíta	23
Cuadro comparativo de las determinaciones antiguas	25
Coordenadas esféricas azimutales	26
Coordenadas esféricas bipolares	33

Cuadro comparativo de densidades	40
Análisis químicos propuestos	43
Sinopsis de las fórmulas asignadas	44
Análisis espectroscópico	44
Diagrama de polvo 48 y	54
Forma cuadrática	51
Comparación de los valores Q	60

INDICE DE FIGURAS

Pág.

FIG.	1.	Cristal de Cumengeíta (fotografía) 1	13
Fig.	2.	Relaciones sistemáticas 1	16
FIG.	3.	Plano de localización del yacimiento típico	18
FIG.	3 bis	Plano de la región cuprífera de El Boleo	19
FIG.	4.	Bipirámide tetragonal de Cumengeíta	20
Fig.	5.	Cristal de Cumengeíta	20
Figs.	6 y 7.	Cristales de Cumengeíta, según Hadding (1919)	21
FIG.	8.	Estereograma	24
Fig.	9.	Gnomonograma	30
Fig.	10.	Trazado de un cristal de Cumengeíta con base en su	
		matriz de Bond	32
FIG.	11.	Expresión de los ángulos determinativos de Barker	33
FIG.	12.	Pseudomacla de Cumengeíta, según Hadding (1919)	36
FIG.	13.	Análisis por fluorescencia de una muestra de Cumengeíta 44-	45
FIG.	14.	Espectrofotograma del análisis por difracción de rayos X 46-	47
Fig.	15.	Esquema que unifica los diagramas de polvo de Cu-	
		mengeíta	47
FIG.	16.	Elección óptima de los parámetros fundamentales	50
FIG.	17.	Representación esquemática del diagrama de polvo	53
FIG.	18.	Grupo espacial I 4/mm	65

LOS MINERALES MEXICANOS

87

4. CUMENGEITA



.

La CUMENGEITA es otro de los minerales descubiertos en México, y miembro del grupo de oxicloruros llamado de la boleíta; grupo el más mexicano de la Mineralogía por la procedencia de sus componentes.

87

El aspecto externo de esta especie la hace tener a primera vista como una forma de boleíta; mas unas mediciones morfológicas más precisas le justifican su carácter autónomo, ya reconocido desde los primeros tiempos de su descubrimiento.

Mientras la boleíta fue presa de prolongadas controversias, la cumengeíta fue objeto de un estudio paralelo y citada casi siempre junto con aquélla; mas no por ello suscitando la divergencia de pareceres sino rememorándola para corroborar asertos anteriores.

Su estudio tiene multitud de interferencias con los otros miembros de su grupo mineralógico a que pertenece, y si se repite la cita de algunos datos en estas páginas en gracia a integrar una monografía completa en lo que cabe, hay otros que se ruega consultar entre los ya publicados. (Inst. Geol. Méx., Bol. 66 (1963).

Se trata de un mineral extremadamente raro: no se le ha citado hasta ahora en otras localidades, fuera de la típica, y aun en ésta se le ha encontrado con dificultad.

SINOPSIS

CUMENGEITA (Mallard, 1893)

874

Fórmula: PbCl₂. Cu (OH)₂ + H₂O

Cristalización: Tetrag. holoédrica.

Nombre: Cumengeíta (Mallard, 1893). Sinonimia: cumengita (Kenngott, 1853). Etimología: Eduardo Cumenge (1828-1902).

Primera publicación:

MALLARD, E. y CUMENGE, E. Sur une nouvelle espèce minérale, la Boléite. Comt. Rend, Acad. Scienc., Paris. 113 (1891) 519-524.

Datos históricos:

Recolectada por Cumenge, en El Boleo (Baja California Sur, México), junto con boleíta.

Estudiada en París por Mallard y Cumenge (1891), en un trabajo rápido. Se la tuvo por boleíta.

Se la sospecha independiente de la boleíta, por no tener Ag como ésta. (Cumenge, 1893)

En 1893 la estudia Mallard como especie independiente; le propone el nombre de Cumengeíta.

Cristales artificiales por Friedel (1892, 1894).

Lacroix confirma las tres especies independientes (boleíta, seudoboleíta, cumengeíta) en 1904, y Gramont las analiza en 1905.

En 1914 lleva Friedel unos cristales de boleíta y de cumengeíta desde París a Lund. Hadding los estudia en (1919).

Gossner y Arm miden los cristales con goniómetro teodolítico, y comienzan su estudio röntgenográfico (1929).

Friedel revindica (1930) sus antiguos puntos de vista sobre las especies afines, en oposición a las nuevas aclaraciones de Gossner y Arm logradas con procedimientos más modernos. Así se establece la polémica de la boleíta.

Hocart (1930) continúa röntgenográficamente los estudios sólo morfológicos de Friedel, y procura apoyarlo. Gossner y Arm (1930) responden a las dificultades y deciden el problema.

Presencia: Cristales azules, blandos, de 2 a 7 mm, en ganga de arcilla blanca de origen traquítico.

La arcilla es montmorillonítica, con cristales de anglesita, atacamita, boleíta.

Hábito: Hay formas sencillas y complejas, aunque todas de apariencia muy simple. Aquellas pueden ser:

— prismáticas: prisma tetragonal apuntado por pirámide tetragonal de diferente especie que el prisma.

Formas (110) y (101) bien desarrolladas; la (001) muy pequeña.



- piramidales: bipirámide tetragonal.

Por lo común, las formas complejas resultan de epicrecimientos paralelos sobre cubos de boleíta.

Cristalometría: Sólo presenta formas tetragonales holoédricas; no se le conocen meroedrías.

Diedros interfaciales:

(101:011)	74° 05′ 43′
(101:101)	116° 52′ 00′
(101:110)	52° 58′ 32′
(001:011)	58° 26' 00'
(001:101)	58° 26' 00'

Relación paramétrica: a: c = 1: 1.627

LOS MINERALES MEXICANOS: CUMENGEÍTA

Coordenadas esféricas: azimutales:

	Ρ	φ
010	90°00′	0° 00′
100	90° 00′	90° 00'
001	0°00′	0° 00'
111	66° 30′ 20″	45° 00′
110	90°00′	45° 00'
011	58° 26' 00"	0° 00'
101	58° 26' 30"	90° 00'



bipolares:

	110	110	101	011	001
110	0° 00′	90° 00′	52° 58′ 32″	52° 26' 00″	90° 00′
110	90° 00′	0° 00′	52° 58′ 32″	127° 04′ 15″	90° 00′

Orientaciones: cabe sólo dualidad de colocación: las caras piramidales pueden ser consideradas de primera o de segunda especies, contrarias con relación a las del prisma (o a las del cubo de boleíta, en caso de epicrecimiento).

Entre ambas colocaciones:

I	\rightarrow II	110	/	110	/	001
II	→ I	110	/	110	1	001

Matrices de Bond:

Calculadas con base en sus dimensiones estructurales
$$a_o = 14.8604 A$$
 $c_o = 24.174 A$ $c: a = 1.626725$

4

87

INSTITUTO	DE	GEOLOGÍA,	BOLETÍN	78
-----------	----	-----------	---------	----

м	-	$\begin{bmatrix} 1\\0\\0 \end{bmatrix}$	0 1 0	0 0 1.626725
M*	-	$\left[\begin{array}{c}1\\0\\0\end{array}\right]$	0 1 0	0 0 0.614732

Gnomonograma:

Coordenadas gnomónicas

	001	011	111	101	
x	0	0	0.648508	0.851571	
y	0	0.851571	0.648508	0	
z	1	0.523488	0.398658	0.523488	

Coordenadas rectangulares



Coordenadas polares: siendo $\rho = 0^{\circ}$

$$x_o = x'_o = y_o = y'_o = 0$$

 $p_o = p'_o = q_o = q'_o = 1.626725$

LOS MINERALES MEXICANOS: CUMENGEÍTA

Trazado analítico de las formas cristalinas:

Aristas	[010]	[001]	[100]	[111]	[111]
Ψ	-61° 16′ 39″	0°	11° 27′ 43″	25° 53′ 50″	—53° 05′ 50′
Aristas	[111]				
Ψ	65° 56′ 14″				

Indice de Barker:

T cr = $58^{\circ} 26' 00''$ bq = $31^{\circ} 34' 00''$

Indice de Donnay:

	c:a	a_0	$c_0 G_1$	r. espac.	Z	Den	sidad	
						obs.	calc.	
Т	1.6267	14.86	24.17	D_{17}^{17}	40	4.674	4.6739	

Cristalización artificial:

Solución de hidrato de plomo con solución de cloruro de cobre.

Cristales complejos:

Maclas: no tiene. Agregados holoáxicos en epicrecimiento sobre caras cúbicas de boleíta.



8 IN	STITUTO DE GEOLOGÍA, BOLETÍN 78	LOS M	LOS MINERALES MEXICANOS: CUMENGEÍTA				
Minerales análogos:		Diagramas de polvo:	4.819	2.626	3.832	12.085	
Boleíta, azurita, a	arfvedsonita, lasurita, linarita, vivianita (pp).		100	100	90	30	
Frfoliación		I/I _o	2 heta	d	Símbolo		
Exjonación.		30	7.31	12.085	001		
{101} bue	na : {110} distinta : {001} pobre	25	12.49	7.086	103		
()	, (110) alstinua, (001) poble	22	17.27	5.134	221		
Propiedades ópticas		100	18.41	4.819	222		
ropiedades opticas.		12	20.27	4.381	312		
Cristales biáxicos	negativos	90	23.22	3.382	304		
		21	25.43	3.503	330		
0 = 2	.041; $e = 1.925$; $o - e = 0.061$	20	26.50	3.365	107		
		30	29.47	3.031	334		
Muy absorbentes.		25	30.68	2.915	510		
Colory anyl marin		20	32.17	2.713	317		
Dovo nolvos and	o oscuro, algo más claro que boleíta.	45	34.15	2.626	514		
Transporter taz		100	38.27	2.350	620		
Lugtron brille del	slucido en esquirlas.	38	41.95	2.153	419		
Lustre: Drillo dep	limente vitreo.	40	45.06	2.012	607		
Diagana francia: no		15	46.58	1.950	730		
Pleocroismo: muy	débil, entre azul y azul verdoso oscuro.	20	48.98	1.860	800		
Densidad: 4.674 (ok Dureza: 3.	os.) ; 4.6739 (calc.).						
Comportamiento quím	ico:	wy j					
Soluble en ác. Ní Fusiones ácuea e Colores la llama	trico. ígnea. en verde	50 	330 07 3 334 50	317 440 \$ 620	an 60% 720 000"	·····;	
i in i							
Análisis químico:	Pb 54.17 CuO 19.93 Cl 19.13						
	H ₂ O 6.19	Celda elemental:					

Fórmula:

$PbCl_2$. Cu (OH) $_2$ + H $_2O$

6.19

99.42

Identificación espectroscópica: Cu, Pb, Cl Análisis por fluorescencia: Pb, Cu.



9

Celda elemental:

Grupo puntual: D_{4h}, holoedría tetragonal Tipo de red: I Grupo espacial: $D_{4\rm h}^{17}$ – I 4 / m m m – Q_1^{17} $a_{o} = 14.860 \text{ A}$; $c_{o} = 24.174 \text{ A}$; $\frac{c_o}{-} = 1.6267$ Dimensiones: $a_{o} = 14.830 \text{ kX}$; $c_{o} = 24.125 \text{ kX}$ Volumen: $V = 5338.38 A^3$ Celda recíproca: $a^* = 0.067292$; $c^* = 0.041366$

Contenido: Z = 40

Complejo molecular: PbCl₂. Cu (OH) ₂

Vm = 133.4595

Posición sistemática: Strunz (1949)

III Clase: Halogenuros c: Oxihalogenuros Gr. 4º: Grupo de la Boleíta CUMENGEITA



Mineralogénesis: Precipitación sucesiva de cumengeíta, luego de separarse la boleíta, empobreciendo en plata la solución madre,

$$PbCl_2 - Cu(OH)_2 - AgCl_2$$

Yacimiento: Loc. tip., Mina Amelia, Dto. minero de El Boleo, Sta. Rosalía, Municip. de Mulegé, Baja California Sur.
Localidades: México: Mina Amelia (1893): (loc. tip. cit.) Mina El Guruglú (1931), Dto. de El Boleo, cit.

Extranjero: ninguna.

ESTUDIO CRITICO









ADDING TO CA

CUMENGEITA (Mallard, 1893)

CUMENGEITA: $PbCl_2$. $Cu(OH)_2 + H_2O$ Tetrag. holoédrica $a_0 = 14.860 \text{ Å}$; $c_0 = 24.174 \text{ Å}$ $c_{\circ}: a_{\circ} = 1.6267$ $Z = 40 D_{4h}^{17} - I 4/m m m$ Hintze (1915): CUMENGEITA 4 PbCl₂. 4 CuO. 5 H₂O Tetrag. a: c = 1: 1.625 (Friedel) Strunz (1949): CUMENGEITA 5 PbCl₂. 5 Cu (OH) 2. 1/2 H₂O $a_o = 15.17$ $c_o = 24.15 (= 3 \times 8.05)$ $c_0: a_0 = 1.592$ Z = 8 Dana (1951): CUMENGEITA: Pb₄Cu₄Cl₈ (OH)₈: H₂O? o bien PbCuCl₂ (OH) 2 Tetragonal a: c = 1: 1.625 $a_0 = 15.17 \text{ kX}$; $c_0 = 24.71 \text{ kX}$; $a_0: c_0 = 1: 1.628$ Z = ?

NOMBRE

. 1.

Cumengeíta. (Mallard, 1893). Es falsa la grafía "cumengita", ya que a más de no ser la original, que tiene primacía, no respeta la derivación de su proveniencia: el apellido de su descubridor Cumenge.

El apelativo de "cumengeita" fue ya empleado por Kenngott (1853) para otra especie distinta, la volgerita (ocre de Sb, como cervantita).

SINONIMIA

Ninguna.

ETIMOLOGIA '

Eduardo Cumenge (1828-1902), francés, ingeniero de minas (Dana, 1957), de los enviados por la Compagnie du Boleo al reconocimiento del

Dto. Minero de Baja California, para proyectar su establecimiento en México. Este ingeniero fue quien recolectó los primeros ejemplares, que luego llevó a París para su estudio.





POSICION SISTEMATICA

Hintze, 1915: Vol. 1, parte 2, pág. 2651 Clase: Haluros (Cloruros y oxicloruros) Grupo del oxicloruro de plomo

12.: CUMENGEITA

Strunz, 1949: 2ª Ed., pág. 101

III Clase: Halogenuros

C.: Oxihalogenuros

Grupo 4º: Grupo de la Boleita CUMENGEITA Dana, 1951: 7^a Ed., Vol. II, pág. 79 Clase: Haluros Tipo: 2.—A_m B_n (O, OH) _p X_q N^o: 10.2.2. CUMENGEITA (scrp. Cumengita)

PRIMERA PUBLICACION

Los cristales de cumengeita se estudiaron junto con los de boleita, como una variedad "octaédrica" de éstos:

MALLARD, E. y CUMENGE, E. Sur une nouvelle espèce minérale, la Boléite Compt. Rend. Acad. Scienc. Paris 113 (1891) 519-524.

PRIMEROS ESTUDIOS Y DATOS HISTORICOS

Entre los varios cristales azules que recogió Cumenge en el Dto. Minero de El Boleo, Baja California Sur, y llevó a París para ser estudiados por Mallard, los había unos de hábito cúbico y otros de aspecto bipiramidal tetragonal, sencillos o agrupados por 6 sobre sendas las caras de un cubo (Mallard, 1893).

Todos ellos fueron tratados inicialmente como pertenecientes a una misma especie mineral, y así considerados en la publicación de su descubrimiento: cristales raros y por lo general pequeños, que se hallan en agrupaciones por modo de epicrecimientos muy regulares, de 6 pirámides tetragonales reunidas, de modo que sus ejes coinciden respectivamente con los 3 ejes cuaternarios del cubo (Mallard y Cumenge, 1891 a).

Luego se hizo notar que se trataba de otra especie mineral semejante a la de boleíta (contiene también Cu, Pb, Cl) (Cumenge, 1893), pero sin Ag, como ésta.

En 1893 ya son estudiados por Mallard como especie independiente, a la que propone el nombre de *Cumengeita*.

Los experimentos de Friedel (1892, 1894) tienden a reproducirlos artificialmente, y unos 25 años más tarde vuelven a llamar la atención de Hadding, quien estudia unos cristales que Frieden llevó desde 1914 al Instituto Geológico-Mineralógico de Lund (Hadding, 1919).

Desde entonces se ha seguido tratando de ellos en casi todas las publicaciones en las que se hacía referencia a la boleíta, como de minerales del mismo grupo sistemático, y por casi todos los autores. Se ruega considerar la relación bibliográfica final, en donde se enumeran los artículos en los que se les hace mención, dispuestos en orden cronológico: el objeto de esta preferencia es mostrar el proceso del desarrollo histórico que ha tenido el conocimiento de nuestra especie.

La descripción de la cumengeíta se mantuvo a base de sus rasgos físicos y goniométricos, hasta que Gossner y Arm la comenzaron a estudiar röntgenográficamente.

Durante la polémica suscitada por Gossner y Arm de un lado y por Friedel y Hocart del otro, con respecto a la isometría o tetragonalidad de la boleíta (publicaciones de todos ellos, en 1930), acompañó siempre un estu-



FIGURA 3. Plano de localización del yacimiento típico de cumengeita. Sta. Rosalía, Baja California S. Para mayor detalle de situación de las minas Amelia y El Guruglú, véase la fig. 3 bis, tomada del estudio sobre boleíta.





FIGURA 3 bis. Situación de las minas Amelia y El Guruglú, en el Dto. minero de El Boleo, Sta. Rosalía.

dio sobre la cumengeita, por cuya descripción pacífica asistía en calidad de testigo de la contienda que a ella no le tocaba: su tetragonalidad era admitida por todos los contendientes.

YACIMIENTO

Loc. Típ.: Sta. Rosalía, B. C. S.

Los cristales tipo se hallaron en el Dto. Minero de El Boleo, valle de la Soledad, a la entrada del tiro Cumenge (hoy destruido) de la Mina Amelia: cerca de Sta. Rosalía, Mo. de Mulegé, Baja California Sur.

Se presenta la cumengeíta en cristales azules, de 2 hasta 7 milímetros, también como la boleíta en una ganga de arcilla blanca eruptiva, llamada localmente jaboncillo. Esta arcilla montmorillonítica los abandona fácilmente al desleírla en agua. En el residuo se hallan también anglesita y atacamita (Cumenge, 1893), aparte de la boleíta ya citada. Hace notar su descubridor que sólo halló estos cristales en el tiro Cumenge, y del tamaño de los de boleíta que los acompañaba; mas encontrando esta especie en otras localidades del distrito minero y en tamaños mayores, no sería de extrañar existiesen asimismo cristales de cumengeíta de mayores dimensiones.

Para la descripción más particularizada de este tipo de yacimiento rogamos consultar lo resumido de Wilson y Rocha (1957) en el informe publicado sobre la boleíta (Fabregat, 1963).

LOCALIDADES

La única localidad citada en donde se ha encontrado cumengeíta es la misma mexicana de la boleíta:

- Mina Amelia, del distrito minero de El Boleo, Sta. Rosalía, Municipio de Mulegé, Baja California Sur, México.
- Mina El Guruglú, del mismo Dto. Minero de El Boleo, en excavaciones posteriores (1931).

No se la ha citado por Liversidge (1894) entre los cristales de boleíta que anuncia existen en Broken Hill, Canadá.

EJEMPLARES ESTUDIADOS

Se ha dispuesto para su estudio de dos cristales de cumengeíta de la localidad clásica, y verificado en ellos los datos que se han publicado a su respecto. Uno de ellos con hábito prismático, no entero, y el otro bipiramidal. Ambos provienen de la colección de Mineralogía del Instituto Geológico de México (Calle Ciprés 176, Col. Sta. María).

Estos cristales fueron traídos del terreno de la Mina El Guruglú del Mineral El Boleo, en 1931, por el Ing. Salvador Peña, quien siendo Inspector de Minería en esa región ordenó nuevas excavaciones y su búsqueda. Posteriormente se estudiaron asimismo los ejemplares que conserva el museo de mineralogía de la Escuela de Minería (Calle Tacuba 5) galantemente proporcionados por su conservador, el Ing. Raúl Ortiz Asiain.



FIGURA 4. Bipirámide tetragonal del cumengeíta (Mallard y Cumenge, 1891).



FIGURA 5. Cristal de cumengeita. (Friedel, 1906.)

FORMA CRISTALINA; HABITO

Prisma y pirámide tetrag.

Los cristales de cumengeita se han observado sencillos y complejos; éstos en epicrecimientro sobre las caras del cubo de boleíta, ya en forma de





pirámides tetragonales completas, con su base en contacto con las caras del cubo de apoyo, ya truncadas en sus vértices por aparición de un pinacoide paralelo a la base de la pirámide (Mallard, 1893).

Friedel afirma que los cristales de cumengeíta nunca se hallan maclados, sino en forma de agregados holoáxicos (como los citados antes) sobre boleíta, envolviéndola a ésta a veces completamente. Tales agrupaciones regulares tienen sólo semejanza con las maclas, sin ser propiamente tales (Friedel, 1906).

Según la descripción de Cumenge (1893), el mineral que acababa de descubrir parecía pertenecer al ortoclínico y por ello se diferenciaba de la boleíta cúbica. Sus caras son de mayor transparencia y brillo que las de ésta: puede alcanzar hasta 7 mm de largo. Mallard rectifica esa falsa apreciación de su cristalización en el Bulletin de la Société Française de Minéralogie (1893), afirmando su tetragonalidad.

instituto de geología, boletín 78

Los cristales simples tienen aspecto prismático, con las formas (110) y (101) bien desarrolladas, y la (001) muy pequeñas (Mallard, 1893; Friedel, 1906; Gossner y Arm, 1930).

Las caras vistas por Hadding (1919), fueron en conjunto las mismas que las observadas por Mallard y por Friedel, aunque algunas con aspecto diferente. En casi todos los cristales sencillos dominan las caras de prisma, de pirámide, aunque faltan las bases. El aspecto de esos cristales es prismático alargado; el de los de Friedel es piramidal.

No se le conocen formas meroédricas. (Gossner y Arm, 1929).

CRISTALOMETRIA

22

Los cristales de cumengeíta se observaron por su descubridor (1893) en epicrecimientos paralelos sobre cristales de boleíta, y no fueron inicialmente diferenciados de ésta, por lo que se la creyó tetragonal. Tal enmascaramiento originó la polémica que se llevó por varios años sobre la verdadera clase cristalina de la boleíta.

No obstante, al estudiar el conjunto en el microscopio polarizante distinguió Mallard (1893) la parte isótropa central de ese conjunto, de la parte birrefringente, uniáxica y ópticamente negativa, con su eje óptico perpendicular a la cara cúbica subyacente, y sugirió que debía ser distinta de aquella: de cumengeíta.

Hace notar Hadding (1919) que las mediciones efectuadas son interesantes para señalar que los diedros de cumengeíta no son constantes, sino que varían dentro de ciertos límites. Los reflejos dados por el goniómetro no suelen ser sencillos. Si se diafragma en el ajuste de cada cara para que refleje sólo una parte, se llegan a limitar los reflejos, resultando que las caras piramidales son débilmente convexas. Se encuentra que los ángulos medidos cerca del vértice del ángulo poliedro son mayores que los apreciados entre centros de caras.

La primera goniometría fue la de Mallard y Cumenge (1891), quienes reconociendo la brillantez de las caras piramidales, las hallan muy imperfectas goniométricamente: las mediciones angulares se hacen difíciles y facilitan sólo resultados aproximados. Cada cara de pirámide estaría formada por tres fascetas que delimitan una pirámide deprimida. Publican la tabla de valores:

Angulo	Observ.	Calcul.		
$(101: \overline{1}01)$ (101: 011) (101: 110)	117° 27′ 74° 16′	74°22′ 52°49′		

Mallard (1893) rectifica las mediciones anteriores, alegando haberse hecho sobre cumengeíta muy estriada e irregular. Serían: LOS MINERALES MEXICANOS: CUMENGEÍTA

 $(101: \overline{1}01) = 117^{\circ} 19'$

aunque no sería del caso, pues los 8 minutos de rectificación se pueden muy bien admitir como error físico de medición, aun cuando las caras fuesen muy planas. Del nuevo valor calcula para (001: 101) = 58° 44'. Hadding (1919) publicó la tabla de mediciones siguiente:

CUMENGEITA: Tabla de los ángulos interfaciales (Hadding, 1919).

	(101:11	0)	(101:011)		(101:110)	
Cristal	obser.	calc.	obser.	calc.	obser.	calc.
I III IV V VI VII (exf) VIII (exf)	$\begin{array}{c} 119^{\circ} 12' \pm 17' \\ 118^{\circ} 43' \pm 26' \\ 118^{\circ} 32' \pm 03' \\ 118^{\circ} 31' \pm 18' \\ 117^{\circ} 34' \pm 24' \\ 117^{\circ} 09' \pm 07' \\ 117^{\circ} 08' \pm 04' \\ 116^{\circ} 35' \pm 03' \end{array}$	119° 06' 118° 46' 	$75^{\circ} 07' \pm 22' \\74^{\circ} 58' \pm 15' \\74^{\circ} 46' \pm 06' \\75^{\circ} 10' \pm 36' \\74^{\circ} 45' \pm 38' \\74^{\circ} 16' \pm 00' \\$	74° 52' 74° 52' 74° 25' 74° 14' 73° 58'	$52^{\circ} 27' \pm 10' \\ 52^{\circ} 27' \pm 22' \\ 52^{\circ} 31' \pm 12' \\ 52^{\circ} 28' \pm 13' \\ 52^{\circ} 52' \pm 15' \\$	52° 27' 53° 31' 52° 34' 52° 34' 52° 47' 52° 52' 52° 53' 53° 01'

de la que se pueden deducir las relaciones paramétricas:

Cristal	I	c:a =	1.7011
	II		1.6898
	III		1.6820
	IV		1.6808
	V		1.6501
	VI		1.6393
	VII		1.6361
	VIII		1.6186

con una relación paramétrica media de a : c = 1 : 1.6622

Friedel (1906) da las aberturas de los siguientes diedros

(101:011)	=	74° 03′	(media de 8 mediciones)
(101:101)	=	116° 50′	(media de 8 mediciones)
(001:011)	=	58° 23'	(por una primera medición)
(001:011)	=	58° 24'	(por una segunda medición)

haciendo notar este autor que los reflejos goniométricos observados son malos sobre caras piramidales y buenos sobre las caras de exfoliación paralelas a ellas.

Para Gossner y Arm (1930), el segundo diedro de Friedel sería

$$(100:101) = 116^{\circ} 52$$

23

9-0

(1964) 443 000 000 000 000 26,258,7 Fabregat 74° 52° 58° (1957) 30% 23, 23 Dana 52° (1101)(1101)(1101) Diedros 101000 Gossner y Arm. 52 1116° 28' 12" 22' 46' 42" calc. medios) 73° 118° 52° 45" Hadding (valores 13' obs. ++++ 20" 50/ 33/ 74° 117° 52″ 74° 03′ 116° 50′ 58° 44′ Friedel Cumen. 52° 49′ 58° 44′ 74° 22' calc. \mathbf{r} 74° 16' 117° 19' 44' Mailard obs. 58° 011) 011) 0110 0110 Diedros

(101) 10100

angulares

determinaciones

CUADRO COMPARATIVO de todas las

Dana (1957) cita a Friedel (1906) y a Mallard (1893), dando el valor de algunos ángulos interfaciales (distancias angulares entre polos de caras):

(001:011)	$= 58^{\circ} 23' 30$
(001:100)	= 90° 00'
(110:100)	$= 45^{\circ} 00'$
(001:110)	= 90° 00′
(011:100)	= 90°00′
(011:110)	$= 90^{\circ} 00'$

En el cuadro comparativo de todas las determinaciones angulares efectuadas se pueden basar las siguientes reflexiones:

- a) El valor (001: 011) = $58^{\circ} 44'$ que da Mallard (1893) es equivalente al (001: 101), ya que ambos ángulos son iguales; no obstante, su abertura doble da 116° 48' y no los 117° 19' citados.
- b) Los valores de 58° 44' y de 116° 50' hallados como de Friedel en algunas referencias, no concuerdan: el primero debe ser el ángulo mitad del segundo. Si se diera por bueno aquél, éste debería ser de 117° 28'. En el trabajo original de Friedel (1906) se encuentra como ángulo (001:011) en una primera medición 58° 23' y en una segunda 58° 24'. Es más verosímil pensar en un error de transcripción en el arco 58° 44' resultando así para $(101:101) = 116^{\circ} 48'$.
- c) Las aproximaciones a segundos en las mediciones de Hadding se han puesto únicamente para respetar la media aritmética de su tabla de ángulos. Entre todos los valores citados en la tabla comparativa, los que parecen ofrecer mayor garantía son los de Hadding.



FIGURA 8. Estereograma de cumengeita, con tres de sus diedros interfaciales que se midieron.

INSTITUTO DE GEOLOGÍA, BOLETÍN 78

d) El ángulo de Dana (1957), (011: 110) debe estar equivocado: es muy probable que se refiera la cita al (101: 110), citado en el cuadro comparativo como (101: 110) = 52° 58' 30".

En la tabla de las coordenadas esféricas azimutales que se expone a continuación se han consignado los resultados de las mediciones goniomé-

TABLA de coordenadas esféricas azimutales

Tech Claub		Valores of	Valores observados			
Int. Simb.	ρ	φ	ρ	φ		
	010		-	90° 00′	0° 00′	
	100			90° 00′	90° 00′	
	010		-	90° 00′	180° 00'	
	100			90° 00′	270° 00'	
	001			0° 00′	0° 00′	
	111		diameter of	66° 30′ 20″	45° 00′	
3	110	$90^{\circ} 00' \pm 0^{\circ} 00'$	$45^{\circ} 04' \pm 0^{\circ} 04'$	90° 00′	45° 00'	
1	110	$90^{\circ} 00' \pm 0^{\circ} 03'$	$135^{\circ} 02' \pm 0^{\circ} 02'$	90° 00′	135° 00′	
2	110	$90^\circ 00' \pm 0^\circ 02'$	$225^{\circ} 01' \pm 0^{\circ} 03'$	90° 00′	225° 00′	
3	110	$90^{\circ} 00' \pm 0^{\circ} 01'$	315° 00′ ± 0° 01′	90° 00′	315° 00′	
3	011	$58^\circ 26' \pm 0^\circ 01'$	$0^\circ~00^\prime\pm0^\circ~01^\prime$	58° 26' 00"	0° 00′	
2	101	58° 26′ ± 0° 02′	90° 00′ ± 0° 00′	58° 26' 00″	90° 00′	
3	011	$58^{\circ} 25' \pm 0^{\circ} 02'$	$180^{\circ} 00' \pm 0^{\circ} 01'$	58° 26' 00″	180° 00′	
3	101	58° 26′ ± 0° 00′	$270^{\circ} 00' \pm 0^{\circ} 02'$	58° 26' 00"	270° 00'	

tricas verificadas sobre media docena de cristales piramidales de cumengeita.

Orientaciones posibles: Si bien no cabe dualidad en la orientación axial de un cristal de cumengeíta, sí es posible considerar su pirámide tetragonal con dos colocaciones: las propias de pirámide de 1^{a} y de 2^{a} especies.

Hasta ahora se las ha venido estudiando como de 1^{a} especie, quizás por razones mineralogenéticas, dado su epicrecimiento sobre cubos de boleíta. Con esa misma colocación la estudiamos aquí nosotros, para no introducir confusiones que no son del caso. Sin embargo, su posición óptima según las convenciones internacionales parece ser la de 2^{a} especie. En efecto:

a) las caras (110) pasan a ser las (100) y las (011) corresponderían a las (111), con las que se tendría directamente la relación paramétrica.

b) sus orientación y medición goniométricas resultan así más inmediatas. La diferencia consiste en girar la forma 45° en derredor de su eje c.

Las matrices de transformación entre ambas colocaciones I y II son respectivamente:

RELACION PARAMETRICA

a: c = 1: 1.627

Existe gran unanimidad entre los autores con respecto a la tetragonalidad de la cumengeíta, cuyas relaciones paramétricas expresan por los siguientes valores:

Relación paramétrica morfológica

Esta relación paramétrica ha sido determinada por:

Mallard y Cumenge (1891 a)a: c = 1 : 0.9873

Estos autores le asignan un valor que disiente de todos los demás: corresponde a una sustancia pseudocúbica.

Mallard y Cumenge (1891 a)	a:c = 1: 1.645
Mallard (1893)	a: c = 1: $\frac{5}{3}$ = 1: 1.6666

Mallard (1893) a: c = 1: 1.6469

deducida ésta de los parámetros formados por las caras (110) y (011), a los que algunas muestras añaden la (001).

Friedel (1906)	 a :	c =	1: 1.625
Hadding (1919)	 a :	c =	1: 1.6622

Este valor corresponde a la media de las siguientes relaciones que calcula a partir de otras varias logradas como consecuencia de sus mediciones paramétricas:

c :	а	=	1.7011	
			1.6898	
			1.6820	
			1.6808	
			1.6501	
			1.6393	
			1.6361	
			1.6186	

Gossner y Arm (1930) dan la relación paramétrica morfológica a: c = 1: 1.628 (una referencia de su trabajo les atribuye 1.5923) a partir de la medición de (100: 101) = $116^{\circ} 52'$, y la estructural de $a_o: c_o = 1.629$ teniendo en cuenta $a_o = 15.17$ y $c_o = 24.71$.

Dana (1957, cita a Friedel, 1906), expresa además la relación paramétrica polar:

 $p_0: r_0 = 1.625: 1$

La relación paramétrica media, exceptuando el cómputo de Mallard y Cumenge (1891 a) cuyo valor de 0.9873 se aparta mucho de todos los otros calculados, es

a: c = 1: 1.6396

Aunque las mediciones que parecen ofrecer más garantía son las de Hadding (1919), la determinación de la relación paramétrica más cercana a la nuestra es la de Friedel (1906). Con base en nuestras observaciones goniométricas se fijó ser de

a: c = 1: 1.627

Relación paramétrica estructural:

28

A partir de las dos determinaciones de traslaciones elementales que se citan en la bibliografía, resulta:

Gossner y Arm (1930) $a_o: c_o = 15.17: 24.71 = 1: 1.6288$ Hocart (1930) $a_o: c_o = 14.9: 24.15 = 1: 1.6210$

y las verificaciones efectuadas (Cf. el artículo "Dimensiones de la celda elemental" en pág. 55) nos permiten llegar a la conclusión de que,

 $c_o: a_o = 1.626725$

corroborando así la obtenida por medios puramente morfológicos.

MATRICES DE BOND

Las matrices de Bond correspondientes a la cumengeíta se han establecido con base en las dimensiones estructurales calculadas (Cf. pág. 61):

$$a_o = 14.8604 A$$
; $c_o = 24.174 A$; $\frac{c}{a} = 1.626725$

y de la relación paramétrica morfológica que se halló a partir de las mediciones goniométricas, para obtener su verificación con la estructural.

Mediante estas matrices se han calculado las distancias angulares observadas.

LOS MINERALES MEXICANOS: CUMENGEÍTA

M =	$\begin{bmatrix} 1\\0\\0 \end{bmatrix}$	0 1 0	$\begin{bmatrix} 0\\0\\c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1\\0\\0 \end{bmatrix}$	0 1 0	0 0 1.626725
	-1	0	0 [1	0	0 7
M* =	0	1	0 = 0	1	0
	0	0	$\frac{1}{c}$ 0	0	0.614732_

Los productos matriciales de M* por las matrices de las caras son:

De estos productos resultó el cálculo de los ángulos:

(001:111)	\rightarrow	66°30'20"	(101:011)	\rightarrow	74°05′43″
(001:011)	\rightarrow	58°26′00″	(101:110)	\rightarrow	52°58′32″
(001:101)	\rightarrow	58°26′00″			

GNOMONOGRAMA

A partir de las matrices M^* anteriores, se calcularon los elementos gnomónicos:

a) Coordenadas gnomónicas:

	001	011	111	101	
x	0	0	0.648508	0.851571	
У	0	0.851571	0.648508	0	
z	1	0.523488	0.398658	0.523488	
	1º Coor	denadas rectar	ngulares		
	001	011	111	101	
x'	0	0	1.626727	1.626725	_
У'	0	1.626725	1.616727	0	



FIGURA 9. Gnomonograma de cumengeita sobre (001), r = 5 cms.

b) Coordenadas polares: siendo $\rho = 0^{\circ}$,

$\mathbf{X}_{0} =$	$\mathbf{x}_{0} =$	0	У	, ==	У'。	=	0
$p_o =$	$p'_{o} =$	1.626725	q	, =	q'o	=	1.626725

TRAZADO DE LA FORMA CRISTALINA

Para el trazado preciso de la forma cristalina se empleó el método matricial.

A partir de la matriz directa de Bond M, de las matrices E de las zonas presentes en el cristal o cristales observados y de la matriz K de proyección perspectiva, las direcciones de las aristas en el plano del dibujo son

 $D = K \cdot M \cdot E$

LOS MINERALES MEXICANOS: CUMENGEÍTA

1º Los ejes de las zonas presentes en el cristal:

entre las caras	(001) y	(101),	está la arista	[010]
	(110)	(100)		[001]
	(101)	(110)		[111]
	(101)	(011)		[111]
	(011)	(110)		[111]
	(011)	(010)		[100]
	(101)	(011)		[111]

2º La matriz directa de la cumengeíta,

- $\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1.626725 \end{bmatrix}$
- 3º La matriz de la proyección perspectiva, que da los giros convencionales en representaciones cristalográficas:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} -\frac{3}{\sqrt{10}} & \frac{3}{\sqrt{10}} & 0\\ -\frac{3}{\sqrt{370}} & -\frac{3}{\sqrt{370}} & -\frac{6}{\sqrt{37}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.376227 & -0.948683 & 0\\ 1.559625 & 0.519875 & -0.986393 \end{bmatrix}$$

B. Producto de K por M

19		0.316227	-0.948683	0 7
	K . M =	1.559625	0.519875	- 1.604590

 2° Productos D = K M E

Aristas	010	001	100	ī11	111
X Y	$-0.948683 \\ 0.519875$	0 - 1.604590	0.316227 1.559625	- 1.264910 - 2′644330	0.632456
$\mathop{\mathrm{tg}}_{\psi}\psi$	-1.824829 -61°16′39″	0 0°	0.202758 11°27′43″	0.478346 25°53′50″	





COORDENADAS ESFERICAS BIPOLARES

Para el cálculo tetragonométrico de la cumengeita conviene emplear cristales de hábito prismático y asegurar así que las caras no piramidales pertenecen a la misma especie.

LOS MINERALES MEXICANOS: CUMENGEÍTA

Sus coordenadas esféricas bipolares son:

	110	110	101	011	101
110	0°00′	90°00′	52°58′32″	127°04′15″	127°04′15″
110	90°00′	0°00′	52°58′32″	52°58′32″	127°04′15″
	11	1	1	1	
	011	001	110	Ī10	
110	52°26′00″	90°00′	180°00′	90°00′	
110	127°04′15″	90°00′	90°00′	180°00′	

INDICE DE BARKER

El índice de Barker citado en el volumen 1, parte 2, de The Barker Index of Crystals, de Porter y Spiller (Heffer, Cambridge, 1951) es de $cr = 58^{\circ} 24'$, y la referencia de la cumengeíta:



FIGURA 11. Expresión de los ángulos determinativos de Barker.

CUMENGEITA 4 PbCl., 4 CuO, 5 H₂O

(Friedel, Bull. Soc. Franc. Min. 1906, 29, 14; Mellor, II, 15) T. 343 58° 24'

 $\{101\}d$ $\{110\}m$ $\{001\}c$ Sin transformación a: c = 1:1.6255 $(001:101) = 58^{\circ}24'$ SIMETRIA: 4/m 2/m 2/m ; D_{4b}

INSTITUTO DE GEOLOGÍA, BOLETÍN 78

FORMAS: d{101}m{110}c{001}HABITO: d, m; d, m, c; bipiramidal.FIS.:Exfoliac., {101} perf., {110} buena, {001} imperf.—Color, azul.
oscuro. Dens. = 4.67OPTIC. Birrefringencia negativa, débil.
 $\varepsilon = 1.926, \omega = 2.041$ (510 m μ). (Winchell)—Pleocroísmo débil.

FORMULAS DE TRANSFORMACION. A T. 343, sin transformación

----- Según los estudios críticos que se le han hecho:

CUMENGEITA $PbCl_2 \cdot Cu (OH)_2 + H_2O$

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

T 58° 26'

{101}d {110}m {001}c a: c = 1:1.6267 cr = (001: 101) = $58^{\circ}26'00''$ bq = (010: 101) = $31^{\circ}34'00''$ FORMAS: d{101} m{110} c{001} HABITO: d, m ; d, m, c ; bipiramidal CELDA: a₀ = 14.860 Å, c₀ = 24.174 Å, c₀ = 1.6267 SIMETRIA: D¹⁷_{4h}—I 4/mmm FIS.: Exfol., {101} perf.—Color azul oscuro, raya azul claro. Z = 40 DENS. = 4.674 (obs. y calc.).—OPTICA:. Birrefringencia negativa, débil.

O = 2.041 e = 1.925 o - e = -0.061 (Winchell) Pleocroismo débil. DUREZA: 3

FORMULAS DE TRANSFORMACION: Ninguna.

INDICE DE DONNAY

En el catálogo de minerales de Donnay (1954), se halla su referencia con la cita siguiente:

TETRAGONAL

						De	nsid.
c/a	a	Co	Gr. esp.	Ζ	Tipo estr.	obs.	calc.
1.621	14.9	24.15		90		4.67	***

Cumengeíta $Pb_4Cu_4Cl_8O_4.5H_2O$ (Hocart, Struct. Bericht, II, 367) c: a $_{(goniom.)} = 1.625$. También se cita $c_0 = a_0 = 24.71$: 15.17 = 1.629 Celda tetragonal centrada I. Grupo espacial I4 / mmm (Grossner) D_{4ii}^{17} — Según el presente trabajo,

TETRAGONAL

						De	ensidad
c/a	а	с	Gr. esp	o. Z	Tip. esti	. obs.	calc.
1.6267	14.86	24.17	D_{4h}^{17}	40	• • •	4.674	4.6739
Cumengeíta	$PbCl_2$.	Cu (OH)	$_{2} + H_{2}O$	(Gossner	y Arm,	Z.f.K. 72	(1929) 202)
c: a = 1.626	67 . a =	14.860 Å	c =	24.174 Å	. Celda	Tetrag. I	

CRISTALIZACION ARTIFICIAL

Acción del hidrato de plomo con solución de cloruro de Cu

Mallard creyó decidir que los cristales cúbicos de boleíta estaban formados por agrupaciones de materia tetragonal, con dos variedades que se distinguen mutuamente por su contenido de Ag.

Friedel reprodujo artificialmente los cristales tetragonales (de cumengeíta) haciendo actuar hidrato de plomo con solución de cloruro de cobre, resultando

$PbCl_2 + CuO, H_2O$

Quiso cerciorarse de que una pequeña cantidad de Ag modificaba el resultado, y así obtuvo cristales de boleíta.

CRISTALES COMPLEJOS

Ya se indicó que la cumengeíta carece de maclas propias, para formar agregados puramente biáxicos (paralelos) sobre núcleos de boleíta (Fabregat, 1963). Estos son en el caso más general unos agregados triáxicos de boleíta, que se asocian entrecruzándose holoáxicamente, o bien en agregados biáxicos con individuos mutuamente girados 90° en derredor de [100] y de [010], como quiere interpretarlos Friedel (1930): de ambos modos se explican unos surcos entrantes que aparecen a lo largo de las aristas del cubo. La cumengeíta epicrece con frecuencia sobre esa especie, conservando idéntica orientación y llenando los diedros entrantes. Se identifica por su color azul más puro.

Entre nícoles se manifiesta más nítida la separación de ambas especies: la cumengeíta es más birrefringente. Casi siempre se interpone un estrato de boleíta anómala (llamada pseudoboleíta) impidiendo el contacto directo entre boleíta isótropa y cumengeíta, excepto sobre las caras (001) de aquélla, con las que hay poca coherencia.

Se ha sugerido (op. cit.) que por la forma de agrupación se colige la presencia de dos eutécticos en la solución madre: uno en la zona con plata (formación de boleíta) y otro en la región carente de Ag (cristalización de cumengeíta).



FIGURA 12. Pseudomacla de cumengeíta, según Hadding (1919).

Aunque Gossner y Arm (1929, 1930) sugieren poderse admitir una macla de cumengeíta según (035), Friedel (1930) la niega. Decidir sobre esta divergencia es imposible: como se trata de una epitaxis holoáxica, y por ende, con sus tres direcciones paralelas, se comprende cual caso implícito el que lo sean asimismo dos de ellas (macla), quedando siempre en pie la disensión y sobre bases conceptuales.

MINERALES ANALOGOS

Estos cristales se distinguen de los cúbicos y azules de boleíta por su apariencia claramente bipiramidal (de los agregados), o prismática (en los cristales simples). Semejanzas entre cumengeita y boleita (Gossner y Arm, 1930):

Son de notar ciertas semejanzas entre las formaciones reticulares de ambas especies minerales. Ambas traslaciones elementales $a_o = [100]$ tienen casi la misma longitud (15.16 y 15.4 A para Gossner); esto es, la base de la cumengeíta es muy semejante a la de boleíta. Por ello se explica el crecimiento regular de los dos minerales.

Sobre las caras cúbicas (100) y (010) de boleíta se coloca la base de la pirámide (001) de cumengeíta, en orientación paralela. El ángulo entre las dos caras de sendas pirámides es de $153^{\circ}08'$ ($26^{\circ}52'$, respectivamente). En los mejores cristales se pudo apreciar goniométricamente de $25^{\circ}56'$ a $28^{\circ}02'$. Parece tenerse en realidad, y confirmado la opinión de Friedel, una orientación paralela entre boleíta y cumengeíta, más bien que una formación de maclas de cumengeíta. Es de hacer notar que una cara (035) de cumengeíta se inclina $44^{\circ}20'$ sobre (001), esto es, un hecho parecido al comportamiento de la cara (101) de boleíta. Casi paralelas son también las direcciones [053] y [011] de cumengeíta y de boleíta, respectivamente.

Para una macla de cumengeíta según (035) se calcula el ángulo saliente $(011: 011) = 25^{\circ}32'$. Semejante resultado se logra tratándose de una macla con [053] como eje de macla.

La posición de dos individuos de cumengeíta se aproxima a un maclado según [035] ó [053]. Con otras palabras, en crecimientos de boleíta con cumengeíta coinciden los planos (035) y (011) con los ejes [053] y [011], respectivamente.

También quedan casi paralelos otros dos planos reticulares o pares de aristas: ejemplo, la cara (015) de cumengeíta y la (013) en el núcleo de boleíta, con las aristas [051] y [031], respectivamente.

En consecuencia de esas observaciones se aprecia la gran regularidad existente en los intercrecimientos de cumengeíta y boleíta, no pudiendo decidir a priori si se trata sólo de un intercrecimiento paralelo entre ambas especies, o de si dichos cristales se orientan con respecto a una de las dos leyes de macla.

Parecido con otros minerales:

También tiene la cumengeíta rasgos equívocos con las mismas especies parecidas a la boleíta. Como a ésta, hubiera podido confundírsela con un trozo de azurita (monocl.) aunque ésta es de un azul más intenso y brillante, aparte de su monoclinismo.

Son también de color azul oscuro y raya azul, la arfvedsonita, lasurita, linarita y en parte vivianita; mas todas ellas monoclínicas con excepción de la isométrica lasurita, cuya dureza de 5.5 la hace muy diferente a la cumengeíta.

37

EXFOLIACION

[101]	buena	
110}	distinta	
001}	pobre	

Mallard y Cumenge (1891 a) describen exfoliaciones paralelas a las caras a' (011), m (110), p (001), encontrando particularmente nítidas las correspondientes a (110) y (011). Según Friedel (1906), presenta exfoliaciones bien netas paralelas a las caras piramidales, y otras dos paralelas a las caras (110) menos perfectas que las otras; una según (001), imperfecta.

En los cristales complejos con boleíta, las exfoliaciones de cumengeíta forman con las caras del cubo de aquélla ángulos de $31^{\circ}16'$ (ángulo de normales), mientras que ese mismo ángulo de exfoliación en la boleíta lo asegura Friedel (1906), como de $14^{\circ}3'$. Gossner y Arm (1930) no pudieron verificar este valor, que Friedel, no obstante, se empeña por defender (Friedel, 1930).

Hace notar Hadding (1919) que los ángulos entre los planos de exfoliación presentan como los ángulos interfaciales, ciertas variaciones que dicho autor cree relacionar con los cambios en la composición química del mineral; sin embargo, no llega a establecer la ley de correlación entre ambos (exfoliación y composición química) por disponer de pocos cristales.

En la recopilación de Dana's System (1957), se citan como exfoliaciones: {101} buena, {110} distinta, {001} pobre.

PROPIEDADES OPTICAS

En general, la cumengeita aparece como bandas en los ángulos entrantes de los cristales complejos de boleita-cumengeita (V.). Su color azul más oscuro la distingue con facilidad. Se separa mejor entre nícoles cruzados, presentan una cruz negra negativa con anillos extremadamente apretados, propios de un cristal uniáxico, negativo. (Mallard y Cumenge, 1891 a).

Cuando se talla un grupo de cristales piramidales de modo que la sección pase por el centro de la agrupación y sea paralela a dos de sus ejes cuaternarios, la parte central de la lámina queda ocupada por un cuadrado casi monorrefringente de boleíta, en el que se distingue una división en cuatro sectores birrefringentes. (V. boleíta, Fabregat, 1962) (Mallard y Cumenge, 1891 a).

La cumengeita es claramente birrefrigente, de signo negativo.

Sus constantes ópticas no se determinaron con exactitud, hasta Hadding (1919). Mallard determinó los índices de refracción sobre un prisma de cumengeíta, y para los rayos de luz azul-verde.

o = 2.026 , e = 1.965 , O - e = 0.061

valor que se considera hoy en día como demasiado pequeño. (Mallard, 1893; Friedel, 1906). Friedel encontró o — e = 0.010.

Para la determinación de la birrefringencia talló Hadding tres prismas perpendiculares al eje óptico, encontrando:

		V	0	е	o — e
Prisma	1	39° 14′	2.0415	1.9246	0.1169
	2	36° 44'	2.037 ± 0.014	1.923 ± 0.013	0.114 ± 0.027
	3	35° 56'	$2.045 \hspace{0.2cm} \pm \hspace{0.2cm} 0.004$	$\underbrace{1.930 \hspace{0.1cm} \pm \hspace{0.1cm} 0.005}_{=}$	0.115 ± 0.009
Valores	medic	os:	2.041 ± 0.009	1.925 ± 0.009	0.115 ± 0.018

quizás con índice menor en las partes externas y mayor en las nucleares del cristal.

A propósito de esta birrefringencia, conviene recordar la observación comparativa de Mallard (1893) ya citada al tratar de este punto con respecto a la boleíta: al tallar láminas perpendiculares al eje cuaternario común a una asociación de boleíta-cumengeíta (con lo cual logra exactamente el mismo espesor de la sección), se observa con luz polarizada convergente que el primer anillo de interferencia en la cumengeíta es notablemente menor que el correspondiente en la boleíta (en relación de 2:3). De ello se deduce que la birrefringencia de aquélla es notablemente mayor que la de ésta. Las mediciones citadas confirman esta observación, si bien no respetan la proporción de Mallard.

La cumengeita tiene gran poder de absorción.

En luz monocromática deja pasar sólo las radiaciones verde hasta violeta, y únicamente las azul verdosas ($\lambda \approx 0.510$) fueron lo suficientemente intensas para provocar señales térmicas. (Hadding, 1919.)

COLOR

Color azul marino oscuro, algo más claro que el de los cristales de boleíta, con los que forma epicrecimientos paralelos. Por transparencia son más oscuros y menos verdosos que ellos. (Friedel, 1906.)

RAYA; POLVO

Raya azul; polvo color azul celeste.

TRANSPARENCIA

Traslúcido en esquirlas. Transparente en secciones delgadas.

LUSTRE

Brillo débilmente vítreo, no perlado en los planos de exfoliación. (Dana, 1957.)

LUMINISCENCIA

Como los cristales de boleíta, los de cumengeíta no presentan fluorescencia ni fosforescencia. Su notable absorción los permite ver casi negros con radiación de onda corta.

PLEOCROISMO

El pleocroísmo (señalado por Lacroix, 1905) es apenas sensible. Su débil dicroísmo podría distinguirse en n α como azul, y en n γ como algo más verdoso y más oscuro. (Friedel, 1906.)

DENSIDAD

El peso específico de la cumengeíta es demasiado elevado para ser determinado por medio de líquidos pesados. Se dificulta su apreciación debido a: (Hadding, 1919):

a) sus cristales muy pequeños,

b) los de sus agregados cristalinos tienen un núcleo de boleíta.

Las determinaciones experimentales de que ha sido objeto se exponen en la tabla que sigue:

Autor	grs. de materia	densidad,	obs.
Mallard y Cumenge (1891 a) Cumenge (1893) Mallard (1893)		5′0 4′675 4′71	
Friedel (1906)	0′8271	4′67	(1
Gossner y Arm (1929) Gossner y Arm (1930) Gossner y Arm (1930)	0′336 0′995	4′73 5′18 5′05 — 5′06 4′781	(2 (3 (4 (5
Hadding (1919), en Dana (1957) Hadding (1919)	0′0125 1′84 ± 0′06 0′154 ± 0′0044	$4'77 \\ 4'75 \pm 0'01 \\ 4'74 \pm 0'02 \\ 4'88 \pm 0'01$	(6 (7 (7, 8a (7, 8b
Fabregat (1964)	0.742	4 674	

Observaciones a la tabla anterior:

- 1) Se experimentó sobre 44 cristales, a 18°7 C.
- 2) Los autores dan esta determinación como poco segura.
- La determinación se efectuó dos horas después de la sumersión del cristal en el picnómetro.
- 4) Este intervalo de valores es aceptado como correcto por dichos autores.

LOS MINERALES MEXICANOS: CUMENGEÍTA

- 5) Media de tres cristales: pirámides rotas de cumengeíta.
- 6) Probablemente se trata aquí de un error de imprenta, pues en el trabajo original se leen otros valores.
- 7) Parte de pseudomacla de cumengeíta-boleíta.
- 8) Al volumen de la cumengeíta se le restó el nucleo estimado de boleíta en a) $3.5^3 \pm 4^3$; b) $1.4^3 \pm 1.6^3$ cms, y teniendo en cuenta su densidad calculada de 4.9 ± 01 . (Hadding, 1919.)

Densidad calculada:

Hadding (1919)	$4.9 \hspace{0.2in} \pm \hspace{0.2in} 0.01$
Dana (1957)	4.60
Berman (1942), (Dana 57)	4.656 ± 0.015

A partir de la fórmula $PbCl_2$. Cu $(OH)_2$ admitida para la cumengeíta (Cf. pág. 59), y empleando la expresión conocida

$$Vm = \frac{Pm}{d. N}$$

con Pm = 375.68 y Z = 40, que se determina más adelante, así como su volumen molecular de

$$Vm = \frac{V, \text{ celda}}{Z} = \frac{5338.3802}{40} = 133.4595$$

la densidad teórica será:

$$d = \frac{Pm}{Vm, N} = \frac{375.68}{133.4595 \cdot 0.60236 \cdot 10^2} = 4.67318$$

resultado que confirma el valor experimental determinado, y muy semejante al que ya había sido dado por Friedel (1906) y por Cumenge (1893). Los valores calculados por otros autores se apartan menos del actual hallado, que los determinados experimentalmente.

DUREZA

D = 3

Tiene la dureza de la calcita, 3 (Cumenge, 1893). Dana (1957) cita el parecer de Frondel (1948), asignándole una dureza de 2'5, menor que la de boleíta. En realidad, como la de ésta es de 3 - 3'5, y según nuestro parecer, puede muy bien tenerse como de 3.

COMPORTAMIENTO QUIMICO

Es soluble en HNO₃.

Funde al soplete en una masa negra, luego de desprender vapores débilmente ácidos (Cumenge, 1893). En tubo cerrado tiene igual comporta-

INSTITUTO DE GEOLOGÍA, BOLETÍN 78

miento, apreciándose un desprendimiento de agua: su primera fusión es ácuea; la segunda ígnea.

Colorea la llama de una tonalidad verde clara.

COMPOSICION QUIMICA: FORMULA

En el informe publicado sobre el descubrimiento de la cumengeíta y de la boleíta se consignan unos datos de sus respectivos análisis (Mallard y Cumenge, 1891) que las llevan a su casi identidad química:

	Boleita	Cumengeíta	Calcul.
Ag	9′2	9′4	8′5
Cu	14′8	15′0	15′0
Pb	50'2	50′7	48′9
Cl	19′4	19′7	19′5

Mallard rectifica el análisis anterior: los cristales tetragonales de cumengeíta no tienen Ag, la que sólo se halla en los de boleíta. (Mallard, 1893.) Cumenge (1893) expone los resultados siguientes:

Pb	52'99	;	calculado:	52′63
Cu	15'20			16'12
Cl	18′53			18′03
H ₂ O	9′00			9′15
Ag	0′15			
O (dif)	4'13			4′07

Friedel halla sólo un 6% de agua (y no el 9%), y aún, parte de ésta sería debida al PbCl₂ volatilizado durante el proceso analítico, lo cual daría para los cristales de cumengeíta el 4'80% de agua y la fórmula correspondiente de

PbCl., CuO, H.

libres de Ag, que es la que corresponde a los cristales artificiales de Friedel.

En 1906 repite Friedel los análisis de cumengeíta, publicando los siguientes resultados:

Pb	54'47	54'46
Cl	19′03	18′68
CuO	20'27	20'93
H ₂ O	5′90	5′93
Res	0'19	

los que corresponderían a la fórmula más conveniente de

4 PbCl, . 4 CuO . 5 H₂O (Friedel, 1906)

(Mallard, 1893)

De las variaciones halladas en los diedros de cumengeíta y del peso específico de sus cristales, deduce Hadding (1919) que su composición química debe ser asimismo variable.

Al querer calcular el contenido molecular de la celda elemental, no llegaron Gossner y Arm (1930) a obtener un número entero de Z a partir de la fórmula de Friedel

$4 \text{ PbCl}_2 \cdot 4 \text{ Cu (OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

y realizaron nuevos análisis del mineral. Lograron como resultado,

	%	Relaciones moleculare
Pb	54.17	0.261
CuO	19.93	0.250
Cl.	19.13	0.269
H ₂ O	6.16	0.343

de bastante coincidencia con la fórmula anterior empleada. Atribuyeron el hecho a la presencia de sustituciones isomorfas, mas las hallaron tan insignificantes que no se pueden admitir con seguridad:

4 PbCl ₂	4 Cu (OH) 2	H_2O	
0′256	$\begin{array}{cccc} 0'242 \ CuO_2H_2 \\ 0'009 \ CuCl_2 \\ 0'005 \ PbCl_2 \end{array}$	0′064	
	0'256		

con un resto de 0'034 H₂O.

Por el ajuste del número Z que se referirá en su lugar, tantearon la variación de los coeficientes de la fórmula de Friedel, llegando a tener

como más conveniente —aunque no concordante aún con la celda hallada ni con el resto de las 0'34 moléculas de agua— la expresión,

 $PbCl_2$. Cu (OH) 2 (Gossner y Arm, 1930)

Cuadro sinóptico de los análisis propuestos (Dana, 1957)

			I	II	III	IV
		Pb	54′50	55′15	54'47	54'17
		CuO	20'93	21'18	20'27	19′93
		Cl	18′65	18′87	19′03	19′13
		H_2O	5'92	4'80	5′90	6'19
		Res.	-	-	0′19	-
			100′00	100′00	99′86	99′42
I.	Teórico				Fórmula:	Pb ₄ Cu ₄ Cl ₈ (OH) ₈ .2 H.O
II.	Teórico				Fórmula:	PbCuCl ₂ (OH) 2
III.	Mineral	de El	Boleo (Frie	edel, 1906)		4 PbCl ₂ . 4 CuO . 5 H ₂ O
IV.	Mineral	de El	Boleo (Gos	ss. Arm, 19	30)	PbCl ₂ . Cu(OH) ₂

42

Sinopsis de las fórmulas propuestas

I II III IV	PbCl ₂ . CuO . H ₂ O 4 PbCl ₂ . 4 CuO . 5 H ₂ O 4 PbCl ₂ . 4 Cu (OH) ₂ . H ₂ O PbCl ₂ . Cu (OH) ₂ + H ₂ O	Mallard (1893) Friedel (1906), Hocart (1930), Dana (1957) Gossner y Arm (1930)
v	5 PbCl ₂ . 5 Cu (OH) $_2 . \frac{1}{2} H_2O$	Strunz (1949)

Como se puede ver, la fórmula IV es idéntica a la I; así como la III lo es a la II.

En realidad todas las fórmulas propuestas son iguales, si se exceptúa la expresión de la cantidad y el modo del agua considerada. Hay otras consideraciones que pueden tenerse en cuenta para decidir adecuadamente sobre el punto discutido: el estudio del complejo molecular contenido posiblemente en la celda elemental (Cf. pág. 81). En ese artículo se ponderan comparativamente otros criterios fundamentales, llegando a aceptar la que parece más propia,

IV $PbCl_2 \cdot Cu(OH)_2 + H_2O$

con cierta cantidad variable de agua de interposición, significada por el último término precedido por el signo +.

Su peso molecular Pm = 375.68.

ANALISIS ESPECTROSCOPICO

Gramont (1895) publica el espectrograma de unos ejemplares de cumengeíta, entonces recién descubierta, provenientes de la loc. típ. de Sta. Rosalía, B. C. S. Las rayas que describe son:

	P	Cu	Pb	Cl	
Cu ε	6	21′8	665′6	610/7	Bien visible Apenas visible, dudosa
$ \begin{array}{c} \text{Pb} \ \varepsilon \\ \text{Cu} \ \gamma \\ \text{Cu} \ \delta \end{array} $	5	578′1 570′0	600′3	0107	Bastante bien visible Bastante fuerte
Pbγ			560'7 537'3		Muy fuerte Fuerte
Cl ß	$\left\{ \right\}$			545′5 544′3	Bien marcada
Pbζ	L			542'3	Bastante fuerte Fuerte
			554'8	539'2	Bien marcada



liación, quiza debida a un cambio progresivo de su composición química (Hadding, 1919).



FIGURA 13. Análisis de una muestra de cumengeíta, por fluorescencia.

		LUS	MINERALE:	S MEXICAN	OS: CUMENGEITA
Cu α Pb δ Cu β Cu α		529′2 521′7 515′3 510′5	520′1		Bastante fuerte Muy fuerte Bastante bien visible Muy fuerte
Cl δ Pb β	{		504′4 500′5	509′8 50 7′7	Bien visible Bastante fuerte Bien visible, difusa Fuerte, confundida con Débil Bastante fuerte
Cl ε Cl ζ				492'4 490'3 489'7 482'0 479'4 481'0	Fuerte Bien marcada Bien visible
Pb φ Pb ψ Pb α		470′3 465′1 427′5	438′6 424′6 406′3	478'1 476'8	Fuerte Bastante bien visible Fuerte Bastante fuerte

ANALISIS POR FLUORESCENCIA

La curva espectrofotométrica obtenida en el análisis por fluorescencia de la cumengeita señala como componentes principales el Pb y el Cu. Probablemente puede admitirse algún vestigio de Cd como elemento accesorio.

MINERALOGENESIS

 $boleíta \rightarrow cumengeíta$

45

Por la forma de los agregados complejos de boleíta y cumengeíta se colige que la precipitación de cristales en una solución conteniendo cloruro de Ag, origina boleíta (cúbica), y al traspasar el punto eutéctico de equilibrio de la solución $PbCl_2 - Cu (OH)_2 - AgCl$, hacia su empobrecimiento en Ag, se forman únicamente cristales tetragonales de cumengeíta.

Tanto la cumengeíta cuanto la boleíta, experimentan ligeras variaciones durante su crecimiento: entre ellas, la disminución del ángulo de exfoliación, quizá debida a un cambio progresivo de su composición química (Hadding, 1919).

554'8 539'2 Bien marcada

ROENTGENOGRAMAS POR DIFRACCION

En el estudio paralelo de las especies boleíta y cumengeíta, ésta ha sido siempre objeto de pruebas análogas a las efectuadas sobre la primera. Se le han sacado casi las mismas radiografías por difracción, cual se ha relatado ya al tratar sobre las dimensiones de la celda elemental, del diagrama de polvo,... y que en síntesis han sido:

GOSSNER Y ARM (1929)

Cristal giratorio por [100], [001], [110], [111]. Lauegrama según (101).

HOCART (1930)

Cristal oscilante 15°, por [001], cámara cilíndrica 30 kV, 15 mA 25 min.

FABREGAT (1964)

Diagrama de Debye, Cámara de 114.6 mm, CuK, 35 kV, 20 mA. Espectro fotométrico de polvo, por difracción, CuK, 35 kV, 20 mA. Diagramas de precesión con giro por [001], sobre los planos $a^* - c^*$,

 $b^* - c^*, [110] - c^* \cdot CuK_{\alpha}, 45 \text{ kV} \quad 20 \text{ mA.}$ d = 0 $r_s = 15$ S = 32F = 60.00

DIFRACCION

	4.8196	2.626	3.832	12.085
DIAGRAMA DE POLVO	100	100	90	30

El diagrama de polvo de la cumengeíta se obtuvo por un registro fotométrico (I) (CuK α , filtro Ni; 35 kV, 20 mA), y por dos registros fotográficos mediante el procedimiento de Debye-Scherrer, cuyos valores medios resultantes de las lecturas se colocan en una misma columna (II), (Cámara de 114'6 mm, CuK α , filtro Ni; 35 kV, 20 mA).

Es de advertir que no existe tarjeta alguna de cumengeita en la colección de la A.S.T.M., y la indicación del espectro que encabeza este párrafo, es la deducida de nuestro registro (I).

La columna de espaciados se refiere a los 2θ medios; con sus logaritmos correspondientes se ha trazado el espectro de difracc. de la fig. 15.



FIGURA 14. Espectrofotograma del análisis por difracción de rayos X

ción de la A.S.T.M., y la indicación del espectro que encabeza este párrafo, es la deducida de nuestro registro (I).

La columna de espaciados se refiere a los 2 θ medios; con sus logaritmos correspondientes se ha trazado el espectro de difracc. de la fig. 15.



49

	Valores observados		OS	Val. Medios		Espaciados	
Reg.	fotm.	Reg.	fotgr.	Medidos	Calcul.		
I/I	2 θ	I/I	2 θ	2 θ	2 θ	d	log d
30	7′30	d	7′25	7′30	7′31	12′085	1′08225
25	11′63	-	-	11′62	11′62	7′605	0'88110
-	-	dd	12'13	12'13	-	7'295	0'86303
25	12'40	dd	12′53	12'46	-	7'102	0'85138
5	13′68	-	-	13′68	13′74	6'476	0'81131
3	14'62	-	-	14'62	14′65	6'000	0'77815
-	-	d	16′60	16′60	-	5'340	0'72754
22	17'22	d	17'20	17'21	17'23	5/150	0'71181
100	18'50	ff	18′50	18'50	18'74	4'800	0′68124
6	20'05	dd	20'07	20'06	-	4'422	0′64562
12	20'80	-	-	20'80	20'78	4'267	0'63012
11	21'80	dd	21′80	21'80	-	4'074	0'61002
70	22'30	m	22'57	22'45	22'69	3′955	0'59704
90	23'60	-	-	23'60	23'35	3'770	0'57600
52	24'00	ff	24'10	24'05	23'87	3/700	0′56820
21	25'20	dd	25'45	25'32	25'00	3′520	0'54654
20	26'25	dd	26′58	26'42	-	3'373	0/52827
40	27′65	d	27'18	27'39	27'69	3'253	0'51228
56	28'85	-	-	28'85	28'76	3'094	0'49052
20	29'30	dd	29'28	29'29	29'23	3'048	0'48401
37	29'70	d	-	29'70	29'62	3'010	0'47857
12	30'30	dd	30′48	30′39	-	2'940	0′46835
30	31′70	dd	30′78	31′74	31'86	2'819	0'44855
20	32′30	dd	32'28	32'32	32'34	2'770	0'44248
-	-	dd	32'78	32'75	32′72	2'735	0′43696
60	33′65	-	-	33'65	33′58	2'663	0'42537
38	34′60	m	34'10	34'35	34'87	2′611	0'41681
21	35'10	d	35′38	35'24	35'35	2'547	0'40603
11	35'70	-	-	35'70	35′67	2'515	0'40054
-	-	d	36'25	36'25	36'15	2'478	0'39410
42	37′15	d	37′58	37'26	37'19	2'413	0'38256
100	37′80	-	-	37'80	38'01	2'380	0′57658
43	38′50	m	38'45	38'47	38'45	2'340	0'36922
23	39'00	d	39'18	39'09	39′09	2'309	0'36342
18	39′80	dd	40'28	39′96	39′66	2'255	0'35315
10	40'80	dd	41′08	40'94	40'82	2'204	0'34321
38	41'40	m	41′92	41′66	41′32	2′168	0 0 1041
5	42'30	-	-	42'30	42'29	2'137	0/32980
6	43'10	dd	43′93	43'52	43'39	2'080	0/31806
24	44'70	-	-	44'70	44′63	2'027	0/30685
40	45'10	-	-	45'10	45′00	2'010	0/30320
							000040

$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	0 20020
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	7 0′28937
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	0'27577
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	7 0′27346
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	6 0′26858
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	0′25575
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	'9 0 ′2 5018
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	50 0 [′] 24304
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$.3 0′23376
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	0'22557
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	51 0′22037
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	0′20249
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	⁷ 4 0′19700
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	⁵⁹ 0′19285
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	0 0'18752
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	20 0'18184
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	6 0′18070
7 62/00 44 62/02 62/06 1/4	0'17114
7 0390 uu 0383 0380 - 14	58 0'16376
6 64'80 dd 64'98 64'87 64'77 1'4	38 0′15776
dd 65'88 65'88 - 1'4	20 0′15229
12 66'30 dd 66'63 66'63 66'23 1'4	04 0'14737
17 67'80 dd 67'53 67'67 67'63 1'3	35 0'14145

No son de extrañar el que algunas líneas carezcan de correspondencia entre los valores observados, dada la multitud de líneas del diagrama y lo poco saliente de su mayoría entre las de fondo: el no hacerlas explícitas no quiere decir que no se presenten, aunque exiguas.

La sigla de este espectro de polvo, según los principios de la ASTM, y teniendo en cuenta únicamente las líneas presentes en la impresión fotográfica, es

4.800	3.955	3.700	12.085
100	70	50	30

La numeración de este diagrama se lleva a cabo de la manera habitual, por medio de la forma cuadrática. (Cf.)

De tener que basar la identificación de la cumengeíta en una diagrama de Debye, no suelen tenerse en cuenta tantas líneas, y a este fin se repitió tomando todas las condiciones óptimas. El diagrama así simplificado (sólo fotográfico) resultó ser el que se expone en la pág. 71, en donde se lo numera, y con una sigla algo diferente,

4.819	2.626	3.832	12.085
100	100	90	30

LOS MINERALES MEXICANOS: CUMENGEÍTA

51

lo cual es obvio, no obligándolo a equilibrarse con el registro fotométrico, el que por la mayor cantidad de muestra requerida corre peligro de cierta contaminación con boleíta.

FORMA CUADRATICA

El cálculo de la forma cuadrática de un mineral es una confirmación muy característica del acierto en la elección de parámetros y determinación del sistema cristalino a que pertenece. Se hace indispensable en su proceso de numeración de interferencias.

La expresión cuadrática correspondiente a los cristales tetragonales es



FIGURA 16. Elección óptima de los parámetros fundamentales a partir del diagrama de polvo.

Aunque de desarrollo algo laborioso se calcularon directamente los Q_{hkl} bajo la hipótesis de los parámetros asignados a la celda elemental, así como el símbolo de las líneas. Se tuvieron en cuenta únicamente los índices dígitos y positivos en vistas a disminuir el número de operaciones.

Los resultados se obtuvieron para una radiación CuK $_{\alpha} \lambda = 1'54178 \text{ Å}$.

$2 heta_{ m obs}$	Q	$2\theta_{cale}$	Qcale	Símb.
5/0.0	0/000010	7/01	0/00/00 40	100
7/30	0'006819	731	0'006843	100
11′65	0'01'7332	11'62	0/01/233	101
12′40	0'019627			
13'60	0'023591	1374	0'024076	111
14'60	0′027168	14′65	0'027372	200
17'23	0′037757	17'23	0′037762	201
18'30	0′042551	18′74	0′044605	211
20'15	0′051496	19′53	0′048404	102
20'80	0′054835	20′78	0'054744	220
21'70	0'059625	20'88	0'055247	112
22'20	0'062370	22'69	0'065132	221
23'70	0′070958	23'35	0'068933	202
24'00	0'072739	23'87	0′071977	301
25'20	0′080075	25'00	(0'078820	311
	0 000070		0075776	212
26/25	0'086767	_	(*******	
27'65	0'096084	(28/27	0/100356	103
21 00	0 000004	20 21	0/096305	222
28/95	0/104425	28/76	0/103148	302
20 00	0/107636	2070	0/10/7100	112
29 30	0/111000	20/55	0/100/09	400
29 90	0/11/00/	29 00	0/100001	400
30 30	0/10/771	29 02	0 109991	312
31'60	0124751	131'86	0126/21	411
		(35/35	0'155100	303
32′30	0′130191	∫32′34	0′130520	322
		(31′99	0′127728	213
33′70	0′141388	-	_	
34′55	0′148390	33′58	0'140407	421
35′00	0'152159	(34'87	0'151049	402
		32'72	0'133564	331
35′80	0'158964	35'67	0'157892	412
		36'15	0'161943	313
37/15	0'170749	37/19	0/171075	500 43
37/70	0/175657			
28/50	0/182006	(38/01	0/179421	400
00 00	0 102500	120/24	0/101/05	422
		100 04	0/101400	201, 43
20/00	0/107501	(38 45	0/182472	323
39'00	018/501	39.09	0/188308	511
39'80	0'194958	39'66	0'193618	204
40′80	0′204456	40'65	0′203001	403
		(40'82	0'200461	214
41'40	0'210248	<i>§</i> 41′22	0′208837	521
		141'32	0'209844	413
42'30	0'219065	42'29	0'219065	440, 22

43′10	0'227032	[42'61	0'222523	441
		43'39	0'227833	304
		43'40	0'230373	423
44'70	0'243323	44'34	0'240008	522
	0 = 100=0	44'63	0'243052	531
45/10	0'247419	45′00	0'247419	600
45'85	0/255321	45'94	0'256738	601
46'45	0/261675	(46'30	0'260537	442
10 10	0 2010/0	46′58	0'263581	611
		46'68	0'264588	503. 433
		46'68	0'266603	105
19/25	0/28115	48/20	0'281115	540
40 20	0/283860	(48'34	0'282577	414
40 00	0 200000	48'48	0'284110	621
		48'75	0/287132	205
50/70	0/200461	50/65	0/308461	630
50 70	0.212010	(51/01	0/312/89	443
51 10	0 313019	151/10	0/21/50/	225
59/20	0/000040	51/25	0/215201	622
52'30	0 320040	51/51	0/210201	631
		51 51	0/2212/7	205
50/50	0/040000	[01 /0	0/2/2766	710 550
53 70	0 343200	33.01	0 342700	710, 550
60'10	0 421955	59'85	0/419437	014
62'80	0'456779	62'62	0'455185	811, 741
		62'69	0'456192	723
		[62'85	0'458207	525
63′90	0'471216			
64′80	0′483130	∫64′47	0'479513	802
		264'77	0'483542	406
66′30	0′503181	[66'12	0′501553	704
		66'23	0′503086	661
		66'46	0′506108	605
67′80	0′523463	67'63	0'522082	644
		167'82	0'524600	326

Los valores definitivamente aceptados, así como sus espaciados correspondientes, se exponen al tratar del espectro general de polvo (en pág. 65) omitiendo aquí una repetición inecesaria.

La numeración de estos diagramas de polvo, así como el cálculo de su forma cuadrática obedece a las dimensiones deducidas por su análisis interno (con base en a = 12.087, c = 9.810 (Cf. pág. 79). Luego de estudiar detenidamente la celda elemental, se admiten como definitivas las $c_o = 2c$,

$$a_o = \frac{5a}{2}$$
; o sean,

52

 $a_o = 14.860$; $c_o = 24.174 A$

repitiendo los cálculos con estas dimensiones.



De esta manera, queda como base de identificación de la cumengeíta el diagrama fotográfico siguiente, al que se han ajustado sus valores de 2 θ en vista de las dimensiones de la celda elemental admitidas como fijadas con mayor precisión, cual se discute más adelante.

		CUMENGE	$_{0} = 14.860$	$c_{o} = 24.174 \text{ A}$			
		4.819	2.626	3.832	1	2.085	
		100	100	90	-	30	
Int	I/I_{o}	2 θ	Qobs	Qcalc	Simb	d	Log d
-				0.000044	0.01	10.005	1.00005
m	30	7.31	0.006838	0.006844	001	12.085	1.08225
m	25	12.49	019911	019928	103	7.086	0.85040
dd	22	17.27	037931	037937	221	5.134	0.71046
ff	100	18.41	043060	043070	222	4.819	0.68296
dd	12	20.27	052105	052127	312	4.381	0.64157
f	90	23.22	068152	068133	304	3.832	0.58343
dd	21	25.43	081519	081509	330	3.503	0.54444
dd	20	26.50	088398	088376	107	3.365	0.52699
				088353	332		
d	30	29.47	108861	108888	334	3.031	0.48159
d	25	30.68	117765	117735	510	2.915	0.46464
dd	20	32.17	129173	129131	317	2.713	0.43345
d	45	34.15	145076	144905	440	2.626	0.41929
				145114	514		
				145743	228		
				146616	441		
				146720	523		
ff	100	38.27	181172	181132	620	2.350	0.37107
d	38	41.95	215618	215588	419	2.153	0.03304
dd	40	45.06	247053	246866	607	2.012	0.30363
dd	15	46 58	263060	262641	730	1.950	0.29003
~~~	10	10.00	200000	263479	538		0.20000
dd	20	48.98	289158	289811	800	1.860	0.26951

con la representación esquemática análoga a la trazada en la Fig. 15.

DIMENSIONES DE LA CELDA ELEMENTAL  $a_o = 14.8604 \text{ Å}$ ;  $c_o = 24.174 \text{ Å}$  $c_o$ :  $a_o = 1.626725$ 

Admitida la condición tetragonal de la cumengeíta,

I. Cálculos paramétricos a partir del diagrama de polvo.

A, CALCULO DE LOS PARAMETROS FUNDAMENTALES.

 a) A partir de la forma cuadrática tentativa, según el procedimiento recomendado por las Int. Tabellen (1935), y tomando sólo en cuenta las líneas

	N	20	Símbolos
	-		
	1	7'31	100
	4	14′65	200
	8	20'78	220
	16	29'55	400
	25	37′19	500, 430
	32	42'29	440
	36	45'00	600
	41	48'20	540
	45	50′65	630
	50	53′61	710, 550
	•		
Promedio de	$Q = \frac{1}{2^2} 0'006$	843	
	a ₀		
	$a_{o}^{2} = 14$	6′127	
se calculó	$a_0 = 12$	087 Å	

b) Para el cálculo de  $c_0$ , se tuvieron en cuenta las coincidencias más precisas de las líneas entre las observadas y las calculadas:

Símbolos	Q	$\left(\frac{a}{c}\right)^2 l^2$
101	1′7233	1′5184
201	3'7762	1′5184
222	9'6305	6′0736
113	10'7199	13'6656
322	13'0520	6'0736
323	18'2472	13′6656
214	20′0461	24'2944
	Símbolos 101 201 222 113 322 323 214	Símbolos         Q           101         1'7233           201         3'7762           222         9'6305           113         10'7199           322         13'0520           323         18'2472           214         20'0461

de la última columna resulta  $\left(\frac{a_o}{c_o}\right)^2 = 1'5184$ hallando para el a_o admitido,  $c_o = 9'8108$  A

c) Con las dimensiones halladas resulta

$$\left(\frac{a}{c}\right)^{2} = 1'5184$$

$$\frac{a_{o}}{c_{o}} = 1'232 \quad ; \quad \frac{c_{o}}{a_{o}} = 0'811688$$
Valores de  $\left(\frac{a_{o}}{c_{o}}\right)^{2}1^{2}$ 

$$2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7$$

18'5184 6'0736 13'6656 24'2944 37'9600 54'6624 74'4016 97'1776

8

**B, OBSERVACIONES A LOS PARAMETROS CALCULADOS** 

 a) Las dimensiones de la celda elemental se calcularon ya anteriormente por tres autores:

Gossner y Arm (1930) fueron los primeros en intentar la determinación de los parámetros fundamentales de la cumengeíta. Obtuvieron rontgenografías del cristal sencillo y de cada una de las pirámides del complejo cristalino compuesto por epicrecimientos sobre caras del cubo de boleíta. Se lograron siempre y en todos los casos iguales resultados.

Aunque ya en 1929 habían publicado una tabla de sus determinaciones, en el trabajo de 1930 la repiten corrigiendo algunos datos.

Períodos de identidad P, en A.

Dirección I [hkl]	Observados	Calculados
[100] = a	$ \begin{array}{c} 15'21\\ 15'13\\ 15'13\\ 15'16\\ 15'16\\ 15'15 \end{array} $	
[001] = c	24'73 24'77 24'78 24'74 24'72	

(110)	21/13 21/24 21/32 21/38	$21'44 = a\sqrt{2}$
[111]	21'36 16'41 16'38 16'46 16'39 16'39	$16'37 - \frac{1}{2}\sqrt{2a^2 + c^2}$

Por los reflejos (110): 330, 440, 660, resultó ser el parámetro  $a_0$  de la celda,  $a_0 = 15'19 \text{ Å}$ ; y por los 001) : 004, 006, 008,  $c_0 = 24'66 \text{ Å}$ .

Hocart (1930) publicó unos resultados que diferían algo de los hallados por los dos autores anteriores. Su conjunto se expone en la tabla siguiente:

Parámetros fundamentales	c _o :a _o	<b>a</b> _o : <b>c</b> _o
Gossner y Arm (1930) $a_{o} = 15'19 \stackrel{o}{A}$ ; $c_{o} = 24'66 \stackrel{o}{A}$ $a_{o} = 15'17$ ; $c_{o} = 24'71$ Hocart (1930) $a_{o} = 14'9 A$ ; $c_{o} = 24'15 A$ Gossner y Arm (1930) todas las combi-	1′6234 1′6388 1′6210 } 1′6244	0′61561
$a_o = 15'19$ ; $c_o = 24'66$ $15'21$ $24'73$ $15'13$ $24'75$ $15'16$ $24'77$ $15'15$ $24'72$ $24'74$ $24'78$	1′6295	0′61368

- b) Comparación con las nuevas dimensiones calculadas:
  - —Nuestro parámetro  $a_o$  es sensiblemente la mitad del calculado como  $c_o$  por los autores anteriores: cabe pensar en una orientación diferente y en considerar nosotros una celda reducida.
  - ---Nuestro parámetro  $c_{\rm o}$  es sensiblemente los % del clásicamente admitido.
- c) Comparación de las respectivas relaciones paramétricas:

- —Nuestra relación paramétrica estructural  $c_0$ :  $a_0 = 0'811688$  es aproximadamente la mitad de la hallada en 1930 y de la media admitida como relación paramétrica morfológica (Cf. pág. 27).
- -Esta relación se aproxima (aunque no iguala) a la determinada por Mallard y Cumenge (1891 a), justificándose mutuamente (Cf. pág. 33).

#### C. CONCLUSION

Las dimensiones halladas a base del espectro de difracción de polyo, se refieren a una celda tetragonal reducida:

$$a_o = 12'087 A$$
;  $c_o = 9'8108$ ;  $c_o : a_o = 0'81168$ 

II. Cálculos apoyados en la antigua relación estructural media:

a) Admitida como legítima la dimensión  $a_0 = 12'087 \text{ Å}$ , debido a:

- 1. La exactitud y coincidencia entre valores observados y calculados en el diagrama de polvo, y
- 2. Por el hecho de ser mitad de la va aceptada como c., cabe calcular el tercer parámetro a base de ella y de la relación estructural media hallada en 1930:

$$\frac{c_{o}}{a_{o}} = \frac{c_{o}}{12'087} = 1'6244$$
$$c_{o} = 19'6341 \text{ Å}$$

resultado sensiblemente doble del calculado anteriormente.

b) Conclusión: estas consideraciones llevan a elegir entre dos celdas. ambas con el parámetro a, mitad del clásico.

 $a_0 = 12'087$ ;  $c_0 = 9'8108$ ;  $c_0 : a_0 = 0'81168$ 

y mitad de la relación paramétrica ya admitida.

 $a_0 = 12'087$ ;  $c_0 = 19'6341$ ;  $c_0 : a_0 = 1'62439$ 

y relación paramétrica generalizada.

### III. Comprobación de resultados y admisión provisional de parámetros.

La comprobación directa de los valores propuestos tiene un camino muy seguro: calcular la forma cuadrática a base de cada binario de parámetros propuestos, y optar por el que dé mejores coincidencias. Como hacen entrar en juego todos los índices, sería una labor ingente e inútil: se concentrará la atención en los símbolos siguientes:

1

100	630
200	550
220	101
400	201
500	222
440	113
600	322
440	323
600	214
621	

Los elementos de la tabla siguiente son los de comparación a que se hace referencia. No se tienen en cuenta los resultados correspondientes a los ángulos  $2\theta$  mayores que 67° 80, límite superior concedido al espectro.

En ella se subravan las coincidencias que no sobrepasan un límite de error: a) de 0'1 entre los valores de  $2\theta$  observados y calculados, no queriendo decir que errores un poco mayores no sean admisibles.

coeficiente de probabilidad = 
$$\frac{núm. de coincidencias}{valores considerados} = C'$$

b) De admitir un límite de error de 0'25 de diferencia entre los  $2\theta$  observados y calculados:

coef. prob = 
$$\frac{\text{coincidencias}}{\text{valores consid.}} = C''$$

La reflexión sobre los coeficientes anteriores, deducidos con base en el análisis del diagrama de polvo, y un examen atento de los resultados, parecen abogar por los parámetros propuestos como por los más verosímiles: si bien son éstos los matemáticamente congruentes, pueden no ser los reales de la celda elemental. La red tetragonal de cumengeita tendría en consecuencia las dimensiones:

 $a_0 = 12.087A$ ;  $c_0 = 9.8108A$ ;  $c_0 : a_0 = 0.81168$ 

mas antes de formar un juicio definitivo se ha de examinar otro criterio importante.

### IV. Criterios inmediatos: diagramas de precesión.

Mediante la cámara de precesión de Buerger se obtuvieron unos diagramas empleando directamente el vértice de un cristal bastante perfecto de cumengeita. El procedimiento tuvo la ventaja de lograr su orientación exacta y asegurar la pureza de la muestra: se tenía la certeza de excluir así toda contaminación con la boleíta del cubo nuclear.

Se hizo girar el cristal por su eje c [001], orientando sucesivamente como paralelos al plano del diagrama:

-		Tabla de	valores (	le Q en coi	ncidencia	a (radiaciór	1 CuKa	8/1.50.1 = 1	(A)	100017
/	Condi	ciones		Determinacio	ines nuev	/aS	Goss. y	Arm (1930) - 15/17	Hocart	(1930) = 14'9
	/		° °	= 12.00/ = 9'8108	ບິສ	= 12.001 = 19'6341	Co ::	= 24'71	ະ ຊິບິ	= 24'15
Obser	vaciones	/	co : a	= 0'81168	Co: ao	= 1'62439	Co: a.	= 1'6288	co: ao =	= 1'6210
Simb.	2.0	10	2.0	8	20	S	20	Q	20	0
100	7′30°	0'006819	7/31°	0'006843	7/31 °	0'006844	5'82°	0'004345	5'93°	0'004504
101	11'65	0'017332	11′62	0'017233	46'88	0'266240	36'86	0'168110	37'73	0'175953
200	14'60	0'027168	14'65	0'027372	14'65	0'027379	11'66	0'017381	11'88	0'018016
201	17'23	0'037757	17'23	0'037762	48'76	0'286780	38'31	0'181150	39'21	0'189465
220	20'80	0'054835	20'78	0'054744	20'78	0'054758	16'52	0'034762	16'83	0'036032
222	27'65	0'096084	27/69	0'096305	1	1'092370	1	0'689858	I	0721830
113	29'30	0'107636	29'23	0'107199	1	2'348310	1	1'482650	1	1′552053
400	29'90	0'111988	29'55	0'109488	29′56	0'109516	23'46	0,069524	23'89	0'072064
322	32/30	0'130191	32'72	0'133564	1	1'126590	Bears III	0'711580	Ĭ	0744350
500	37'15	0'170749	37'19	0'171075	37'29	0'171120	29′44	0'108632	29'99	0'112600
323	38/50	0'182906	38'45	0'182472	No. of	2'423600	-	1 530450	I	1'619613
214	40'80	0'204456	40'82	0'200461	1	4'184670	46'69	0′264210	1	2'765710
440	42/30	0'219065	42/29	0'218999	42′30	0′219033	33'41	0'139049	34'03	0'144128
009	45'10	0'247419	45'00	0'246373	45'00	0'246412	35'51	0'156430	36'17	0'162144
540	48'25	0'281115	48'20	0'280568	1	0'533194	53'21	0'337585	54'40	0'351609
630	50'70	0'308461	50/65	0′307967	50'66	0'308016	39'86	0'195538	40′61	0.202680
550	53'70	0'343266	53'61%	0'342186	53′61	0'342240	42'12	0'217265	42′92	0'225200
	La comp	paración se	ha hech	o con respe	ecto a ui	no de los re	egistros f	otométricos	s, y no a	los valores
medic	is resulta	ntes de toc	los los (	espectros h	allados.					
Coefi	cientes d $C' = 15/$	e probabilid $17 = 0.8823$	ad: C'	= 6/11 = 0	)'5454;	C' = 2,	/13 = 0'1	538;	C' = 1/	12 = 0'0833

10	$\mathbf{el}$	eje	а	[100]
<b>2</b> º	el	eje	b	[010]
3°	el	pla	no	(110)

d*

rs S

Las constantes del aparato fueron 45 kV, 20 mA; radiación CuK $\alpha$ ,  $\lambda = 1.54178$  (filtro Ni):

= 0	$\mu = 25$
= 15	F = 60.00
= 32	

De las mediciones efectuadas sobre las placas que se impresionaron con las redes recíprocas correspondientes (plano  $a^* - c^*$ ;  $b^* - c^*$ ;  $[110]^* - c^*$ , tomadas las medias de 10 a 19 lecturas, se pudieron apreciar:

c* =	0.127557	a*	=	0.20750
$c^{*} =$	0.082733	a*		0.134584

mediciones éstas que fueron confirmadas por la tercera radiografía, dada la coincidencia entre los valores observados para [110]* = 0.145714,

 $[110]^* = 0.09451$  y los calculados para el mismo sector con base en las traslaciones elementales anteriores.

El ángulo interaxial se apreció constantemente en 90° 00'

De las dimensiones recíprocas c* y a* resultan directamente las traslaciones elementales:

 $c_0 = 12.08700$ ;  $a_0 = 7.430265 A$ ;  $\alpha = 90^{\circ}00'$ 

la c_o exactamente como se determinó por otros medios; la a_o, menor.

El doble de ambas traslaciones son sensiblemente las dimensiones admitidas por los autores, y muy en particular con las de Hocart (1930):

 $c_0 = 24.174 \text{ Å}$ ;  $a_0 = 14.8604 \text{ Å}$ 

y sus relaciones paramétricas cuadran perfectamente como medias de las estructurales y de las morfológicas propuestas. Además, estas dimensiones quedan plenamente confirmadas por las observaciones goniométricas, mediante el cálculo matricial con base en estos elementos.

No deja de extrañar el que la dimensión de ao no sea exactamente la determinada para la red de boleíta  $a_0 = 15.186$  A, dado el epicrecimiento existente entre ambos minerales.

De las traslaciones admitidas se deduce,

 $c_0: a_0 = 1.626725$ 

60

• (Y

## INSTITUTO DE GEOLOGÍA, BOLETÍN 78

0′5833

11 7/12

H

Š

0'5384;

H 7/13

H. "D ò

0'8181

H

-11

ò Ù

= 0'9411:

16/17

1

Š

H

III

N

6/11 9/11

INSTITUTO DE GEOLOGÍA, BOLETÍN 78

En la revisión crítica actual se ha elegido la fórmula química de Gossner y Arm como la más adecuada,  $PbCl_2$ . Cu (OH) ₂; mas con las dimensiones de la celda que se calculan, nos resulta Z = 40.

Los otros datos son:

M = 375	.68	$V_c =$	5338.38
d = 4.67	73	$V_m =$	133.4595

Con la determinación actual de Z volvemos a una aproximación con Hocart (1930), quien a partir de  $4 \text{ PbCl}_2 \cdot 4 \text{ CuO} \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$  (M = 536) calcula Z = 10: con un complejo molecular idéntico al nuestro, si bien admitiéndole 0.25 moléculas de agua de composición. El problema de esta agua no puede tener una solución evidente; si bien es el parecer más generalmente admitido estuviera esta agua como de interposición, no es así del todo seguro.

El Dana's System (1957) cita a Gossner (1929) en las dimensiones de la celda, aunque con la unidad equivocada porque no las da en kX como

dice, sino en A; no se decide por fórmula alguna, adoptando provisionalmente y con interrogación, la de Friedel (1906): su número Z queda en problema. Con ello da la impresión de haber consignado simplemente los datos, sin querer reflexionar sobre el asunto.

## GRUPO DE TRASLACION

La indagación del grupo de traslación es sencilla: en efecto, por las traslaciones elementales determinadas se afirma tratarse de una red tetragonal, y por sus reflejos presentes

$$h + k + 1 = 2n$$

se trata de una celda centrada, I.

Estas determinaciones coinciden con los pareceres de los autores anteriores. Friedel (1906), por ejemplo, dice que tomando por h'(100) la cara que él nota por m (110) con c: a =  $1.625/\sqrt{2} = 1.149$  con la condición de centrar el modo de Bravais en sus caras, se presentaría el cristal como seudo-cúbico de aspecto octaédrico (p: a') = 58°24' en lugar de 54°44'para el cubo-octaedro regular.

GRUPO ESPACIAL

Friedel (1906) determina para la cumengeíta el grupo de simetría  $D_{\rm ih} - 4/m 2/m 2/m$ , que abreviado es 4/m m m (holoedría tetragonal). Este dato lo citan Porter y Spiller (196) en el índice de Barker.

La simetría de Laue fue determinada por Gossner y Arm (1929) también como propia de ese mismo grupo puntual.

Posteriormente, y en el mismo año de 1930, Hocart (citado en las tablas de Donnay) por un lado, y Gossner y Arm por otro, no hallan contradicción alguna para tener a la cumengeíta como tetragonal holoédrica con base en

## CONTENIDO DE LA CELDA ELEMENTAL

Fijadas ya las dimensiones de la celda elemental en a = 15'17 A y

Z = 40

PbCl₂, Cu (OH)₂

c = 24'71 Å por Gossner y Arm (1929), intentaron colocar en el volumen de esa celda el contenido molecular de la cumengeíta. Encontraron cierta inseguridad en la determinación de Z con respecto a las densidades que aceptan como posibles: d = 4'67, 4'73, 4'78. A base de ellas y refiriéndose a la fórmula 4 PbCl₂4 Cu (OH)  $_2$  H₂O (M = 1520'7) les resulta para Z 10'58, 10'72, 10'83 respectivamente: esos números distan demasiado de 11, para poder declararse como satisfactorios. La explicación la dan por el hecho de tener su molécula un número impar de átomos de O, lo cual es incompatible en una celda elemental centrada.

Repitieron sus cálculos a base de la misma fórmula, mas con diferentes relaciones entre sus coeficientes:

PbCl ₂ :	CuO ₂ H ₂ :	H ₂ O	=	5:	5:	
				5:	5:	
				6:	6:	
				8:	8:	
				5:	4:	
				5.	4.	

suponiendo la presencia de ciertas sustituciones isomorfas.

Se probó con la fórmula sencilla  $PbCl_2$ . Cu (OH) ₂, hallando Z = 43'88 para d = 4'78, y Z = 43'41 para el caso de admitir d = 4'73. El primer valor de Z permite redondearlo a Z = 44.

0

Los 44 Pb, 44 Cu, 88 O, 88 Cl y 88 H corresponderían a situaciones de puntos del grupo espacial  $D_{4h}^{17}$ . Los átomos de igual especie carecerían de idéntico valor estructural.

En contra de la fórmula citada existe un inconveniente: queda sin colocación un resto de 0'38 moléculas de agua.

Se ensayó entonces la posibilidad de utilizar la fórmula

 $3 \text{ PbCl}_2$ .  $3 \text{ Cu}(\text{OH})_2$ .  $H_2O(M = 1145'O)_1$ 

calculando Z = 14'23 y Z = 14'4. El primer valor (para d = 4'73) encuadra para Z = 14 dentro del límite de error tolerable. De este modo resulta un contenido de 42 Pb, 42 Cu, 84 Cl, 98 O y 42 H en su celda elemental. Se necesitan en consecuencia tres clases de situaciones puntuales de 2 grados de libertad para 2 Pb, 2 Cu y 2 O. En el grupo espacial  $D_{4h}^{17}$  hay sólo dos de esos puntos.

Gossner y Arm (1930) deciden que a base de los datos röntgenológicos concuerda únicamente la fórmula  $PbCl_2$ . Cu (OH)₂. La celda elemental tendría 44 moléculas de esta especie. Aunque el exceso de agua que da el análisis permanezca inexplicado, esos autores lo admiten como agua de interposición, y libre por consiguiente de su trabazón estequiométrica: la cumengeíta tendría en este aspecto cierta semejanza con algunos silicatos (como la Cordierita).

62

 $D_{1h}^{17} - I4/mmm$ 

#### INSTITUTO DE GEOLOGÍA, BOLETÍN 78

sólo caracteres morfológicos externos, y están unánimes en asignarle el grupo espacial  $D_{th}^{tr} - I 4/m m m$ .

Una exfoliación paralela a (101) les dio a estos últimos autores el lauegrama simétrico con relación a un plano; por ello se establece no pertenecer a ninguna de las clases  $S_4$ ,  $C_4$   $\delta$   $C_{4h}$ .

Se numeraron muchas manchas del cristal giratorio, mas como tienen índices 0 y 1, la numeración fue algo insegura; aunque atenuada la incertidumbre por las relaciones descubiertas entre niveles y las curvas de zona tan claras. Se llegó a establecer bien el reflejo (001). Se registraron además los siguientes reflejos, que aquí ordenamos para poderlos apreciar en su valor diagnóstico:

i00	_	
pOO	_	
OOi	-	
OOp	+	004, 006 (m), 008 (m), 00 $\cdot$ 12, 00 $\cdot$ 10 (m), 00 $\cdot$ 14
iiO	+	530, 730, 017, 019, 01 · 13, 03 · 11, 03 13
ipO		
ppO	+	024, 028, 02 $\cdot$ 10, 02 $\cdot$ 12, 02 $\cdot$ 14, 048, 04 $\cdot$ 12
$\mathbf{h}_{\mathrm{p}}\mathbf{h}_{\mathrm{p}}\mathbf{O}$	+	440 (f), 660 (m), 880 (f), 022
$h_i h_i O$	+	330 (f), 550 (F), 770 (m), 033, 055
iOi	-	
iOp		
pOi	-	
pOp	-	
iii	-	
iip	+	316, 318, 31 - 12, 419, 431, 516, 518, 538, 657, 712, 714, 716,
		718, 813, 820
ipi	+	217, 323, 525, 527, 541, 542, 54 · 11
ipp		
ppi	-	
ppp	+	428, 42 10, 42 12
h _i h _i i	-	
h _i h _i z	+	556, 332, 772
h _i h _i v	+	558, 118, 11 · 12, 334, 338
$\mathbf{h}_{\mathrm{p}}\mathbf{h}_{\mathrm{p}}\mathbf{i}$	-	
$h_p h_p z$	+	444, 222, 442, 662
hhv	1	664 774 778

resultados que no se oponen a que la celda sea centrada. En efecto, sólo se hallan reflejos con h + k + 1 = 2n (par).



FIGURA 18. Grupo espacial  $D_{4b}^{17} - I 4/m m m$ , siguiendo las convenciones internacionales de representación.

Ante la serie de reflejos citada señalan Gossner y Arm como congruentes con ellos, y por lo tanto posibles, los grupos  $D_{\rm h4}^{17}\,$  (17 a 20), que por otra parte son los únicos centrados de la holoedría:

- el 17 se admite, por hallarse también reflejos (110) de orden impar.
- el 18 se excluye porque tiene muchos reflejos Okl en el primer orden.
- los 19 y 20 se excluyen porque los reflejos tipo (001) sólo empiezan a reflejar en el  $4^{\circ}$  orden.

Esos autores citados se deciden en consecuencia por el 17,

# $D_{4h}^{17} - I4/mmm$

Con nuestras determinaciones se confirma la elección de ese mismo grupo: sin embargo, al poner los reflejos en la tabla anterior es de notar:

 $1^{\circ}$  que propiamente no aparecen los pOO, ya que se les ha registrado como OOp, y

2º que los pOp no aparecen, porque ya se les ha consignado como ppO.

Como estas exigencias no son propias del grupo  $D_{4h}$  y como no tienen gran consistencia porque hay índices que se han de traslocar para ser tenidos en cuenta, bien puede también hacerse lo mismo con ellos.

64

#### BIBLIOGRAFIA

Se ha preferido la ordenación cronológica de estas referencias bibliográficas para apreciar mejor la sucesión histórica de los estudios efectuados sobre la especie que nos ocupa.

- MALLARD, E. Y CUMENGE, E. (1891 a). Sur une nouvelle espece minérale, la Boléite. Compt. Rend. Acad. Scienc., Paris 113 (1891) 519-524. Groth's Zeitschr. 22 (1891) 579.
- MALLARD, E. Y CUMENGE, E. (1891 b). Sur une nouvelle espece 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 de París (Mallard y Cumenge, 1891 a).
- CUMENGE, E. (1893). Sur une nouvelle espece minérale découverte dans le gisement de cuivre du Boleo (Basse Californie, Mexique). Compt. Rend. Acad. Scienc., Paris 116 (1893) 898-900. Groth's Zeitschr. 25 (1894) 305. Resumen de O. Mügge, en Neues Jahrb. f. Min. 1 (1895) 10.
- MALLARD, E. (1893). Sur la Boléite, la Cumengéite et la Percylite (sic. = Pseudoboléite).
   Bull. Soc. franc. Miner. 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.
- FRIEDEL, G. (1894). Sur la Boléite artificielle. Bull. Soc. franc. Min. 17 (1894) 6. Groth's Zeitschr. 25 (1894) 306.
- LACROIX. (1895). Bull. Museum Hist. Naturelle 39.2 (1895).
- GRAMONT, M. A. DE (1895). Analyse spectralle directe des Minéraux. Bull. Soc. franc. Miner. 18 (1895) 171-373.
- FRIEDEL, G. (1906). Contribution a l'étude de la Boléite et de ses congéneres. Bull. Soc. franc. Miner. 29 (1906) 14-55.
- HINTZE, C (1915). Handbuch der Mineralogie 1 (2B) (1915) 2651. 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.
- 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 los minerales de la boleíta, en las páginas 218-231. Resumen: Strukturberich 2 (1937) 365-366.
- FRIEDEL, G. (1930). Sur la boléite, la pseudoboléite et la Cumengéite. Réponse á 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 déterminaction des parametres de la boléite, de la pseudoboléite et de la cumengéite, au moyen des rayons X. Zeit. f. Krist. 74 (1930) 20-24. Resumen: Strukturbericht 2 (1937) 367.
- HOCART, R. (1934). Contribution a l'étude quelques cristaux a anomalies optiques. Bull. Soc. franc. Mineral. 57 (1934) 5-127.
- GOSSNER, B. (1930). Ueber Boleit, psudoboleit und Cumengeit. Bemerkungen zu zwei Abhandlungen von Friedel (1930) bzw. HOCART (1930) über den gleichen Gegenstand, Zeit, f. Krist, 75 (1930) 365-367.
- STRUNZ, H. (1949). Mineralogische Tabellen. Akad. Verlagsgesellschaft. Leipzig (1949). 2° Ed. El grupo de la boleita 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, 7° Ed. J. Wiley, New York (1957).
- DONNAY, J. D. H. (1954). Identification of Crystalline Substances for Cell Dimensions. Part. II. Determinative Tables. Geolog. Soc. of America, Mem. 60 (1954).

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 Cuprifero de El Boleo, Baja California, México. Inst. Nac. Invest. Rec. Min., Bol. 41 (1957)
- FABREGAT, F J. Revisión crítica de los minerales mexicanos. Nº 1. Boleita. Inst. Geolog. México, Bol. 66 (1963).

## 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 Dils.
- 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.—Pte. 1—Geología y paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora; Paleontología y estratigrafía del Cámbrico de Caborca. G. A. Cooper, A. R. V. Arellano, J. H. Johnson, V. J. Okulitch, Alexander Stoyenow y Christina Lochman. 258 p., 33 láms., 7 figs., 4 tablas. 1954. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 58.—Pte. 3.—Fauna pérmica de El Antimonio. Oeste de Sonora, México, C. A. Cooper. p. 1-15, 2 figs.—Un fusulínido pérmico gigante de Sonora. C. O. Dunbar, p. 17-22.—Corales. H. Duncan, p. 23-24.—Esponjas. Brachiopoda, Pelecypoda, y Scaphopoda, G. A. Cooper, p. 25-88.—Cephalopoda, A. K. Miller, p. 89-90.—Gastropoda. J. B. Knight, p. 91-98. 26 láminas
- 91-95. 26 Iaminas
  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., I tabla. Pte. 2.—Exploración en busca de bauxitas en Paso de Acultzingo, Ver., y parte del valle de Tehuacán, PueFederico 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. 53-60, 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 Tuxtepec, Oax. Odilón Ledezma. P. 71-80, 2 láms., 19 figs. Pte. 5—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 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 Necaxa, 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. 105-11, 5 figs. 1959. \$30.00 M.N. o \$3.00 DIIs.
- 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.
- 61—Fenómenos geológicos de algunos volcanes mexicanos: Pte. 1—Los géiseres solfataras y manantiales de la Sierra de San Andrés, Mich. Luis Blásquez-L. P. 1-37, 9 figs., 3 tablas. Pte. 2—Las posibles fuentes de energía geotérmica en la República Mexicana. Luis Blásquez-L. P. 39-46 Pte. 3—El grupo volcánico de Las Tres Virgenes, Mpio. de Santa Rosalía Territorio de Baja California. Federico Mooser y Armando Reyes-Lagos. P.

"Los Minerales Mexicanos. 4. Cumengeita" se terminó de imprimir el 19 de marzo de 1966, en IMPRENTA NUEVO MUNDO, S. A., Calzada del Moral 396, Ixtapalapa, México 13, D. F. Se tiraron 1,000 ejemplares. 47-48. Pte. 4—Los volcanes de Colima. Federico Mooser. P. 49-71, 14 figs. Pte. 5—Las nuevas solfataras del Volcán de Colima. Armando Reyes-Lagos. P. 73-75. Pte. 6—Notas sobre geología glacial del Nevado de Colima. J. L. Lorenzo. P. 77-92, 12 figs. Los glaciares de México. Luis Blásquez-L. P. 93-108, 7 figs., 4 tablas. 1961. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.

- 62 .- En preparación.
- 63.—Contribución al estudio de minerales y rocas; Pte. 1.—Curvas de análisis térmico diferencial cualitativo, obtenidas de estudios de bauxitas, arcillas bauxiticas y otros minerales. Eduardo Schmitter. P. 1.57, 31 figs. Pte. 2.—Estudio de un nuevo método para la determinación de alúmina por titulación. Ruth R. de Gómez. P. 59-66, 2 tablas. 1962. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 64 --- Agotado-
- 65.—Estudio mineralógico y petrográfico de algunos domos salinos del Istmo de Tehuantepec. Salvador Enciso-de la Vega. 48 p., 3 láms., 3 figs., 7 tablas. 1963. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 66.—Revisión crítica de los minerales mexicanos; 1—La Boleíta. Francisco J. Fabregat. 106 p. 29 figs. 3 tablas. 1964. \$40.00 M.N. o \$4.00 Dlls.
- 67—Pte. 1—Batimetría, salinidad, temperatura y distribución de los sedimentos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. Amado Yáñez-C. 47 p., 17 figs. 1963. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls. Pte. 2—Sistemática y distribución de los géneros de diatomeas de la Laguna de Términos. Campeche, México. Angel Silva-Bárcenas. 31 p., 12 figs., 1963. \$15.00 M.N. o \$1.50 Dlls. Pte. 3—Sistemática y distribución de los foranímeros recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. Agustín Ayala-Castañares. 130 p., 11 láms., 60 figs. 1963. \$50.00 M.N. o \$4.00 Dlls. Pte. 4—Sistemática y distribución de los micromoluscos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. Agustín Ayala-Castañares. 130 p., 11 complexentes de la Laguna de Términos, Campeche, México. Antonio García-Cubas, Jr. 55 p., 4 láms., 24 figs. 1963. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 68.—Sistemática y distribución de los foraminímeros litorales de la "Playa Washington", al sureste de Matamoros, Tamaulipas, México. Luis R. Segura. 92 p. 42 figs. 1963. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 69.—Geología del área delimitada por El Tomatal, Huitzuco y Mayanalán, Estado de Guerrero. J. M. Bolívar. 34 p., 5 láms., 8 figs. 1963. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 70.—Mezcla de vidrios en los derrames cineríticos Las Américas de la región de El Oro-Tlalpujahua, Estados de México y Michoacán, parte centromeridional de México. Carl Fries, Jr., C. S. Ross y Alberto Obregón-Pérez. En prensa.
- 71.—Estudios geológicos en los Estados de Durango y San Luis Potosi; Pte. 1—Geología de la región entre Río Chico y Llano Grande, Municipio de Durango, Estado de Durango. Diego A. Córdoba. P. 1-22, 7 láms., 3 figs. Pte. 2—Geología de la Sierra de Alvarez, Municipio de Zaragoza, Estado de San Luis Potosí. E. G. Cserna y Alejandro Bello-Barradas. P. 23-63, 12 láms., figs. 1963. \$40.00 M.N. o \$4.00 Dlls.
- 72.—Revisión crítica de los minerales mexicanos, 2—La Plumosita. Francisco J. Fabregat. P. 68, 5 tablas, 18 figs. 1964. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 73.—Construcciones del Laboratorio de Geocronometría; Pte. 1.—Discusión de principios y descripción de la determinación geoquímica de edad por el método plomo-alfa o Larsen. César Rincón-Orta. Pte. 2.—Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría. Carl Fries, Jr. y César Rincón-Orta. Pte. 3.—Compendio de edades de radiocarbono de muestras mexicanas de 1962 a 1964. Josefina Valencia y Carl Fries, Jr. En prensa.
- 74.—Estudios geológicos en el Estado de Chihuahua; Pte. 1.—Geología del área de Plomosas, Chihuahua. Luther W. Bridges II. Pte. 2.—Notas sobre la geología de la región de Placer de Guadalupe y Plomosas, Chihuahua. Zoltan de Cserna. En prensa.
- 75.—Estudios mineralógicos Richard V. Gaines. Pte. 1—Mineralización de telurio en la mina La Moctezuma, cerca de Moctezuma, Sonora. P. 1-15, 1 fig. Pte. 2—Métodos de laboratorio para la separación y purificación de muestras minerales. P. 17-36, 1 tabla. 1965. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 76.—Estudios de Mineralogía. Pte. 1—Los minerales de manganeso de Molango, Hgo. Liberto de Pablo Galán, págs. 1-38, 17 figs., 5 tablas. Pte. 2—Caolinita de estructura desordenada de Concepción de Buenos Aires, Estado de Jalisco, México. Liberto de Pablo Galán, págs. 39-69, 5 figs., 7 tablas. Pte. 3—Nota preliminar sobre la identificación por rayos X, de óxido tálico TI-03 como mineral en minerales de Vizarrón, Mun. de Cadereyta, Querétaro, págs. 71-80, 4 figs.
- 77.—Los Minerales Mexicanos: 3.—La Durangita. Francisco J. Fabregat. P. 113, 6 tablas. 37 figs. 1965. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 78.—Los Minerales Mexicanos: 4.—Cumengeita. Francisco J. Fabregat. 67 p., 11 tablas, 13 figs. 1966, \$30.00 M.N. 6 3.00 Dlls.