



.109



CLASIF.
 ADQUIS. E-8-57
 FECHA.....
 PROCED.....

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

Boletín 77
19290

LOS MINERALES MEXICANOS
 3. DURANGITA

Por
 FRANCISCO J. FABREGAT G., Dr. C.



MEXICO
 1965



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

Director: DR. GUSTAVO G. SALES

Boletín 77

LOS MINERALES MEXICANOS

3. DURANGITA

FRANCISCO J. PARRIS G. DR. G.



MEXICO 1988

CONTENIDO

	Pág.
Introducción	3
SINOPSIS	5
Durangita	7
Fórmula	7
Nombre	7
Descubrimiento	7
Descripción macroscópica	8
Hábito	8
Goniometría	8
Cristalometría	9
Cristales sintéticos	11
Propiedades	12
Comportamiento químico	13
Análisis	13
Identificación	14
Celda elemental	15
Coordenadas atómicas	16
Posición sistemática	17
Isomorfismo	17
Yacimiento	18
Minerales análogos	19
Localidades	19
ESTUDIO CRÍTICO	21
Durangita	23



	Pág.
Nombre	23
Sinonimia	24
Primera publicación	24
Noticia histórica	24
Posición sistemática	25
Yacimiento típico	28
Mineralogénesis	31
Localidades	31
Ejemplares estudiados	31
Presencia	32
Hábito	32
Cristalización	34
Combinaciones	35
Formas observadas	36
Orientación de las formas	38
Matrices de Transformación	41
Comparación de los valores angulares dados hasta ahora	53
Coordenadas bipolares	54
Iconografía	55
Grupo puntual	56
Cristalización artificial	56
Proyección gnomónica	56
Índice de Barker	60
Índice de Donnay	62
Maclado	62
Exfoliación	63
Fractura	63
Tenacidad	63
Dureza	63
Fusibilidad	63

	Pág.
Densidad	63
Transparencia	64
Brillo	64
Color	65
Raya y polvo	65
Propiedades ópticas	65
Dispersión	68
Coeficiente de absorción	68
Pleocroísmo	69
Comportamiento químico	69
Minerales análogos	70
Análisis espectrofotométrico por fluorescencia	70
Análisis químico	70
Fórmula química	74
Diagramas roentgenográficos	76
Diagramas de precesión	77
Celda elemental	80
Contenido de la celda elemental	86
Matriz de Bond	86
Diagramas de polvo	87
Forma cuadrática	90
Grupo espacial	96
Isomorfismo e isotipismo	97
Objetivo especial para el estudio de la estructura	99
Determinación de la estructura	100
Determinación de los parámetros	105
Discusión de la estructura	106
Bibliografía	112

T A B L A S

	Pág.
Tabla I Coordenadas atómicas	102
Tabla II Coordenadas atómicas	103
Tabla III Coordenadas atómicas	105
Tabla IV Röntgenograma del Ecuador, mediante giro en derredor del eje c	107
Tabla V Röntgenograma del Ecuador mediante giro en derredor de [101]	108
Tabla VI Comparación de Durangita con Titanita	111

I L U S T R A C I O N E S

	Pág.
Lámina Cristal de Durangita	entre páginas 22 y 23
Figura 1. Grupo mineralógico de la tilasita	27
Figura 2. Mapa índice del Estado de Durango. Yacimiento típico	29
Figura 2 bis. Esquema de la región Coneto-Sapioris, Dgo.	30
Figuras 3 y 4. Cristales artificiales de durangita, según Machatschki (1941)	33
Figuras 5, 6 y 7. Cristales de durangita, según Hintze (1933)	35
Figuras 8 y 9. Cristales de durangita, según Des Cloizeaux (1875)	36
Figuras 10 a 13. Las cuatro orientaciones propuestas para los cristales de durangita	38
Figuras 14 a 17. Estereogramas correspondientes a las orientaciones anteriores	39-40 y 41
Figura 18. Estereograma de durangita sobre (001), según las mediciones de Des Cloizeaux	42
Figura 19. Estereograma de durangita sobre (010), trasposición del anterior	44
Figura 20. Proyección estereográfica de las mediciones goniométricas de durangita, orientación I	45
Figura 20 bis. Trazado de un cristal de durangita	46
Figura 21. Estereograma de los cristales de durangita estudiados, orientación IV. Proyección sobre (100)	46
Figuras 22 y 23. Estereogramas sobre (001) y (010) orientación IV	47

Figura 24. Trazado de un cristal de durangita estudiado, con base en su estereograma	48
Figura 25. Gnomograma de durangita sobre (001)	59
Figura 26. Esquema de la orientación óptica en la durangita, según Des Cloizeaux	66
Figura 27. Orientación de la indicatriz óptica en un cristal de durangita	67
Figura 28. Curva espectrofotométrica por fluorescencia	71
Figura 29. Planos reticulares recíprocos obtenidos por diagramas de precesión	78
Figura 30. Celda elemental recíproca de la durangita	79
Figura 31. Curva espectrofotométrica de una muestra de polvo	89
Figura 32. Esquema del diagrama de polvo de durangita	91
Figura 33. Grupo espacial C_{2h}^6	97
Figura 34. Proyección sobre (001) K de una síntesis de Paterson	101
Figura 35. Proyección de una síntesis de Fourier	101
Figura 36. Comparación entre factores de estructura e intensidades observadas	104
Figura 37. Estructura de la durangita, Kokkoros (1937)	110

LOS MINERALES MEXICANOS

3. DURANGITA

INTRODUCCION

Entre las especies minerales descubiertas en México, la DURANGITA es una de las más definidas y de importancia clave en la sistemática mineralógica. Se trata de un fluor-arseniato isomorfo e isotópico con el grupo de la titanita.

Como mineral descubierto en el tercer cuarto del siglo pasado, fue objeto de un estudio químico consciente, aunque su investigación cristalográfica se pasó a la ligera. Su primera descripción se hizo hojeando el System of Mineralogy de Dana para ver a qué figura se parecía. La ventaja de esa búsqueda infantil fue la de despertar más tarde el interés de Strunz para examinar con más detención su presunto isomorfismo.

No obstante haber sido muy aproximadas las determinaciones cristalométricas de Des Cloizeaux, fueron admitidas axiomáticamente por los mineralogistas y basado en ellas su determinación de estructura por un autor ateniense (Kokkoros).

Al sintetizar los cristales encontró Machatschki (1941) ciertas diferencias morfológicas y paramétricas con las publicadas hasta entonces con respecto a la durangita natural. Verificó que sus cristales artificiales, de hábito prismático y tabular, no tenían idénticas constantes reticulares que los de la durangita tipo, cuyo hábito es predominantemente bipiramidal.

Las determinaciones de las constantes ópticas plantearon un enigma que ha pasado inotado por falta de ponderación: ese cristal medido como monoclinico tiene un comportamiento óptico triclinico.

Se yergue como duda que habrá de ser resuelta posteriormente, si a las diferencias de hábito corresponde un dimorfismo en la especie, o si su dualidad de dimensiones obedece sencillamente al grado de sustitución catiónica isomorfa.

Se confirmó en nuestra muestra natural esa doble serie de dimensiones que notó existir Machatschki entre cristales naturales y artificiales, diver-

gencias que obligaron a indagar entre demostraciones analíticas. El hallazgo del carácter triclínico (aunque exiguo) de los cristales de durangita confirma plenamente sus propiedades ópticas.

Con la presente revisión crítica no se pretende imponer una solución radical ni tajante del problema, sino únicamente presentar su estado actual y ofrecer la ponderación analítica de los hechos, dejando al lector libre para cimentar su decisión que tenga por más congruente.

SINOPSIS



DURANGITA (Brush, 1869)

Fórmula: $\text{Na}(\text{Al}, 2\text{Fe})[\text{F}, \text{O I AsO}_4]$. *Crist.:* Monocl. holoédrico.

Nombre: Durangita.

Sinonimia: Duranguita (Smith et al., 1957, pág. 5).

Etimología: Capital del Estado de Durango, México, ciudad cercana al yacimiento típico.

Descubrimiento:

Autor: Henry G. Hanks. Envía 3 cristales a Brush desde San Francisco, California. No se sabe si él fue el recolector.

Lugar: Barrancas cerca de la Mina Potrillos, Dist. minero de América-Saporiés, a 30 kms. al NW de Coneto y 148 kms. de la ciudad de Durango.

Primera publicación: George J. Brush.—Contributions from the Sheffield Laboratory of Yale College. No. xx. On Durangite, a fluoarsenate from Durango in Mexico.

Termina con una nota cristalográfica de John M. Blake.—Preliminary note on the Crystallization of Durangite.—Am. Journ. of Science. (II) 48.143 (1869) 182.

Reseña histórica: Hanks envía sus cristales a Brush (1869) quien los estudia bien químicamente, y Blake añade una referencia cristalográfica muy deficiente.

En 1875 publica Des Cloizeaux sus datos cristalográficos y cristalópticos, completados éstos por Larsen (1921).

Johnston (1907) anuncia ser encontrada la especie en Nova Scotia, Canadá.

Kokkoros (1937 y 1938) estudia su estructura y sus relaciones isotópicas. Su isomorfismo es precisado por Strunz entre 1935 y 1939. Machatschki (1941) la obtiene sintéticamente.

Presencia: Cristales aislados, algunos relativamente grandes, en los placeres estanníferos de Durango, o en roca pegmatítica (Nova Scotia).

Descripción macroscópica:

Cristales bipiramidales bien formados, aislados, color rojo carmín, translúcidos, aspecto resinoso, algo corroídos. Acompañan a la muestra principal estudiada unos cristales chicos, generalmente fragmentados, parcialmente maclados de modo indefinido, algunos prismáticos de color melado más claro. La tonalidad se interpreta como obedeciendo a diferentes sustituciones isomorfias.

Hábito: Bipiramidal oblicuo, a primera vista pseudo-ortoclínico. Su ángulo β cerca de 64° , les dan un aspecto exagonal al ser orientados con [010] como vertical.

Entre los fragmentos acompañantes se pueden encontrar formas prismáticas.

Los cristales artificiales son prismáticos (rara vez tabulares).

Goniometría:

Ángulos interfaciales:

	001	011	111	211	010
011	34°20'24"				
111	59°48'47"	43°12'13"			
211	82°22'54"	71°00'15"	27°49'00"		
010	90°00'	55°34'18"	67°31'35"		
01 $\bar{1}$	145°34'47"	111°09'47"	96°46'58"	83°50'27"	55°34'52"
100	115°09'10"	110°37'29"	67°24'57"	39°36'40"	90°09'34"
01 $\bar{1}$	145°34'44"	180°00'	136°46'54"	108°59'28"	124°25'05"
2 $\bar{1}$ 1	82°23'55"	96°17'49"	62°53'39"	45°14'43"	112°46'17"
1 $\bar{1}$ 1	59°53'02"	84°47'25"	67°41'58"	62°47'30"	123°46'47"
0 $\bar{1}$ 1	34°24'59"	68°50'10"	84°13'01"	97°07'31"	124°25'15"

	01 $\bar{1}$	100	01 $\bar{1}$	2 $\bar{1}$ 1	1 $\bar{1}$ 1
100	69°34'23"				
01 $\bar{1}$	68°50'35"	69°22'50"			
2 $\bar{1}$ 1	109°08'28"	39°34'13"	83°40'16"		
1 $\bar{1}$ 1	136°50'40"	67°16'26"	95°38'17"	27°42'24"	
0 $\bar{1}$ 1	180°00'	110°25'40"	111°09'30"	70°47'53"	43°09'09"

Coordenadas esféricas azimutales

Caras	φ	ρ
001	0°00'	90°00'
011	34°20'24"	90°00'
111	48°06'02"	48°26'46"
211	71°27'15"	23°50'00"
010	90°14'	90°00'
01 $\bar{1}$	145°34'52"	90°00'
100	180°00'00"	25°09'14"
01 $\bar{1}$	214°25'27"	90°00'
2 $\bar{1}$ 1	288°11'07"	23°48'12"
1 $\bar{1}$ 1	312°40'16"	48°02'27"
0 $\bar{1}$ 1	325°35'01"	90°00'

Coordenadas bipolares

	c(001)	(01 $\bar{1}$)	(011)	(111)	(211)	(0 $\bar{1}$ 1)	(1 $\bar{1}$ 1)	(2 $\bar{1}$ 1)	(0 $\bar{1}$ 1)
c(001)	Valores indicados en la penúltima tabla								
(01 $\bar{1}$)									

Iconografía

Figs. 9 (Des Cl.); 5, 6 (Hintze); 24, 20 bis, (Fabr.)
Figs. 3, 4 (Machat.)

Cristalometría:

Singonía: Monoclínica holoédrica.

No obstante, estructuralmente se demuestra ligera desviación del $\gamma^* = 90^\circ 30'$, siendo propiamente triclinica.

Grupo puntual: $C_{2h} - 2/m - M1$ (Machatschki)
 $C_{2h} - 2/c - M1$ (Kokkoros)

Constantes gnomónicas:

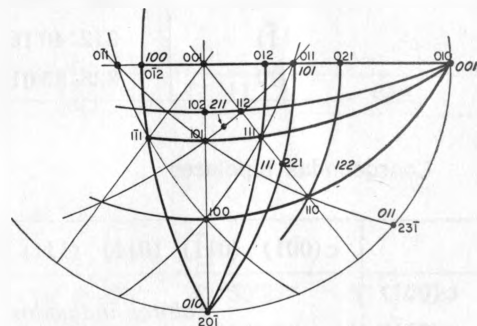
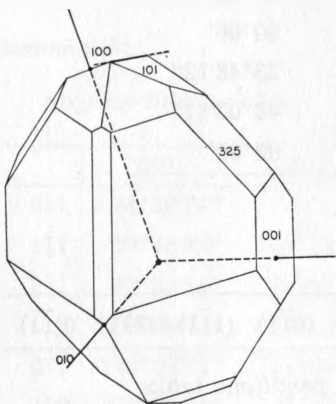
Elementos de proyección:

$$\begin{aligned} p'_o &= 0.993037 & x'_o &= -0.4695 & h &= 1 \\ q'_o &= 0.754683 & y'_o &= 0 \end{aligned}$$

Elementos polares

$$\begin{aligned} p_o &= 0.898874 & \lambda &= 90^\circ 30' & r_o &= 1 \\ q_o &= 0.682852 & \mu &= 115^\circ 09' & x_o &= -0.424980 \\ & & \nu &= 90^\circ & y_o &= 0 \end{aligned}$$

$$p_o : q_o : r_o (=1) = 0.8988 : 0.6828 : 1$$



Orientaciones:

- Orientación I: morfológica. Figs. 10 y 14 (M)
 Orientación II: Des Cloizeaux. Figs. 11 y 15 (D)
 Orientación III: Kokkoros. Figs. 12 y 16 (K)
 Orientación IV: Actual o estructural, Figs. 13 y 17 (F)

Matrices de transformación:

$$\begin{array}{l|l} I \rightarrow II = 200 / 020 / \bar{1}01 & II \rightarrow I = 100 / 010 / 102 \\ I \rightarrow III = 101 / 020 / \bar{1}01 & III \rightarrow I = 10\bar{1} / 010 / 101 \\ I \rightarrow IV = 003 / 600 / 041 & IV \rightarrow I = 020 / \bar{1}03 / 400 \\ II \rightarrow III = 101 / 010 / 001 & III \rightarrow II = 10\bar{1} / 010 / 001 \\ II \rightarrow IV = 306 / 600 / 142 & IV \rightarrow II = 020 / \bar{1}03 / 2\bar{1}0 \\ III \rightarrow IV = 303 / 60\bar{6} / 141 & IV \rightarrow III = 210 / \bar{1}03 / 2\bar{1}0 \end{array}$$

Formas:

Citadas en la bibliogr. (Orientac. II):

$$\begin{array}{cccccc} a\{100\} & m\{110\} & q\{\bar{1}12\} & \pi\{\bar{1}11\} & b\{010\} & \\ & e\{021\} & \text{correg. en } \{011\} & & p\{111\} & \end{array}$$

Observadas (Orient. IV):

$$(001) \quad (01\bar{1}) \quad (011) \quad (111) \quad (211) \quad (0\bar{1}1) \quad (1\bar{1}1) \quad (2\bar{1}1) \quad (0\bar{1}\bar{1})$$

Maclas: Interpenetración sobre $\{001\}$ (Des Cl.), equivalente a $\{10\bar{1}\}$ (Kok.).Relaciones axiales: Transformadas todas a la orient. IV ($c < a < b$): (en unidades A):

Cristales naturales:

Des Cloizeaux (1875) $a : b : c = 0.82449 : 1 : 0.77158$ $\beta = 115^\circ 13'$

Kokkoros (1938) $a_o = 7.00$ $b_o = 8.46$ $c_o = 6.53$ $\beta = 115^\circ 13'$
 $a_o : b_o : c_o = 0.827 : 1 : 0.772$

Machatschki (1941) $a_o = 7.06$ $b_o = 8.57$ $c_o = 6.63$ $\beta = 115^\circ 37'$
 $a_o : b_o : c_o = 0.823 : 1 : 0.774$

Actual (1964) $a_o = 7.155$ $b_o = 8.497$ $c_o = 6.432$ $\beta = 64^\circ 50' 46''$
 $a_o : b_o : c_o = 0.84206 : 1 : 0.75692$

Cristales artificiales:

Machatschki (1941) $a_o = 7.26$ $b_o = 8.68$ $c_o = 6.69$ $\beta = 115^\circ 54''$
 $a_o : b_o : c_o = 0.837 : 1 : 0.771$

Matriz de Bond:

Para el cristal $a : b : c = 0.842065 : 1 : 0.756921$

$$M^* = \begin{bmatrix} 0.154393 & 0 & -0.072999 \\ -0.000430 & 0.117694 & 0 \\ 0 & 0 & 0.155472 \end{bmatrix}$$

Cristales sintéticos:

Ac. arsénico (solución de As en HNO_3 fumante) y criolita natural, en autoclave a 200° durante 36 horas.

Propiedades:

Físicas (no ópticas):

Densidad: Obs., 3.921, (3.94 - 4.07); Calc. 3.616 (Dana)
 Dureza: 5 (Mohs)
 Exfoliación: {110} (D.C1), clara.
 Fractura: concoidea e irregular
 Tenacidad: frágil
 Fusibilidad: 2 (Kobell)

Ópticas:

Diafanidad: traslúcido
 Color: Luz reflejada: rojo carmín, rojo anaranjado, rojo miel.
 Luz transmitida: amarillo pálido
 Raya o polvo: amarillo anaranjado claro
 Brillo o lustre: vítreo muy marcado.
 Empañadura: no tiene
 Luminiscencia:
 Fluorescencia:
 Fosforescencia:
 Extinción: de unos 42° 30' en los cristales sintéticos (Machat.)
 Índices de refracción:
 $n_\alpha = 1.634$; $n_\beta = 1.673$; $n_\gamma = 1.6855$
 Birrefringencia: biáxica negativa (-). Mayor en cristales artificiales
 Coeficiente de absorción: $\mu = 22243.3232 \text{ cm}^{-1}$ (CuK α).
 Pleocroísmo:

Eje de la indicatriz	Pleocroísmo
X	amarillo - anaranjado
Y	amarillo - amarillo pálido
Z	casi incoloro

Dispersión horizontal: muy débil, aunque clara, $r > v$
 id. helicoidal: visible en láminas muy delgadas

Indicatriz

Plano ejes ópticos, \perp (010) (Des Cl.), de simetría.
 $Z \parallel [010]$
 $X [001] = 25^\circ$ en el áng. agudo β (Orient. Des Cl)
 Bisectriz aguda [001] (Des Cl.)
 $2V = 45^\circ$, como valor medio aproximado.
 $2E = 80^\circ 53'$ (luz roja); $2E = 80^\circ 49'$ (luz amarilla)
 $2E =$ de unos 50° en cristales sintéticos (Machatsch.)

Comportamiento químico:

Solubilidad: insoluble en agua regia. Atacada parcialmente por los
 ác. HCl y HNO₃
 Lentamente soluble en H₂ SO₄ concentrado y caliente.
 Tubo cerrado: ennegrece a temperatura moderada; recupera al enfriar
 Funde en vidrio amarillo.
 Desprende sublimado ténue y blanco que corroe el vidrio.
 No tiene agua de cristalización.
 Tubo abierto: reacciones análogas.
 Enrojece papel tornasol.
 Calentado con carbonato de Na y carbón: anillo metálico.
 Carbón: funde fácilmente (fusib. 2).
 Aureola blanca
 Soplete: colorea llama de amarillo.
 Con llama de reducción: olor arsenical
 Perla: con bórax y sal de fósforo, reacc. del Fe
 con sosa, verde Mn

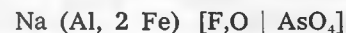
Análisis:

Análisis espectrosc. por fluorescencia: As, Fe, Zn, Cu, Sn

Análisis químico: Composición

As ₂ O ₅	52.45%	As	34.19%
Al ₂ O ₃	20.40	Al	10.79
Na ₂ O	14.84	Na	11.01
Fe ₂ O ₃	6.60	F	8.00
MnO	0.76	Fe	4.62
F	8.00	Mn	0.59
		O	30.49
Suma	103.05		99.69
O = F	3.36		
	99.69		

Formula:



Diagramas röntgenográficos: (La inicial indica la orientación morfol.)

Cristal giratorio	[101] K, Machatschki (1941)
"	" [001] DC, Machatschki (1941)
"	" [001] M y [100] M, actual (1964)
"	" [001], [101], [010] K, Kokkoros (1937)

Weissenberg, [001], [101], [010] K, ecuat, normal, Kokkoros (1937)
 " [001], [100] M, ecuat. normal, Actual (1964)
 " [001], equincl. 1° y 2° niveles, Actual (1964)
 Buerger, precesión, planos (a* - b*) (a* - c*), Actual (1964)
 Polvo, de Debye-Scherrer, Actual (1964)
 „ espectrofotométrico.

Identificación:

Indice de Barker:

	am	bq	cr	ra	ca
M.809					
M.823 A	37° 06'	55° 44'	29° 02'	32° 39'	61° 41'
M.823 B	56° 32'	52° 19'	26° 43'	61° 41'	88° 24'
T.842	37° 22'	55° 34'	52° 47'	62° 23'	115° 09'

De M.823 A → Dana : $00\bar{1} / 010 / 101$ De M.823 B → Dana : $00\bar{2} / 020 / 101$ De Dana → M.823 A : $101 / 010 / \bar{1}00$ De Dana → M.823 B : $102 / 010 / \bar{1}00$

V. las otras en "Matrices de transformación"

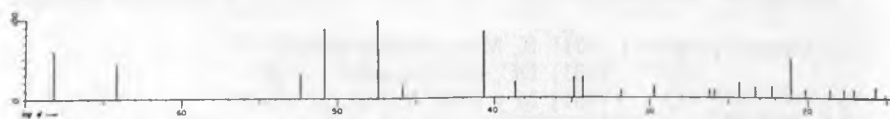
Indice de Donnay:

	a/b	c/b	β		
M - 0.809	0.852		115° 32'		
M - 0.823	0.774		115° 37'		
M - 0.827	0.772		115° 13'		
M - 0.839	0.774		115° 46'		
T - 0.842	0.756		89° 45'	64° 50'	89° 26'

Diagramas de Debye-Scherrer:

Diagramas publicados: ninguno
 Tarjetas de la A. S. T. M.: no tiene

Diagrama de polvo:	$\frac{2'978}{100}$	$\frac{3'222}{90}$	$\frac{2'548}{85}$	$\frac{4'805}{60}$
--------------------	---------------------	--------------------	--------------------	--------------------



2θ	I	d	Simb.
18.475	60	4.805	—
20.257	45	4.380	020
26.667	35	3.340	002
27.657	90	3.222	200
30.105	100	2.978	210
31.142	15	2.871	030
35.220	85	2.548	220, 102
36.932	20	2.434	201
40.317	25	2.236	003
40.957	25	2.204	032, 040
43.457	10	2.083	041, 310, 140
45.742	15	1.983	023
49.782	10	1.831	—
50.170	10	1.818	042, 301
52.232	20	1.752	050
53.570	15	1.711	330
54.945	15	1.670	051, 150, 004
56.617	50	1.625	—
57.920	10	1.592	400
60.255	10	1.536	203, 250
61.596	10	1.506	—
62.630	10	1.483	420
64.745	10	1.440	—
65.895	5	1.418	061

Este diagrama corresponde al polvo obtenido moliendo fragmentos cristalinos de la muestra.

Celda elemental:

Directa:

Cristales con hábito bipiramidal:

A	$a_0 = 7.155434 \text{ A}$	$b_0 = 8.49749 \text{ A}$ $\beta = 64^\circ 50' 46''$	$c_0 = 6.431526 \text{ A}$
	$a_0 : b_0 : c_0 = 0.842065 : 1 : 0.756921$		
A'	$a_0 = 7.141009 \text{ kX}$	$b_0 = 8.4803 \text{ kX}$	$c_0 = 6.418959 \text{ kX}$

Cristales con hábito prismático:

B	$a_0 = 7.0409 \text{ A}$	$b_0 = 8.7032 \text{ A}$ $\beta = 115^\circ 32'$	$c_0 = 7.4229 \text{ A}$
	$a_0 : b_0 : c_0 = 0.8090 : 1 : 0.8528$		
B'	$a_0 = 7.0267 \text{ kX}$	$b_0 = 8.6856 \text{ kX}$	$c_0 = 7.4079 \text{ kX}$

Recíproca:

Cristales con hábito bipiramidal:

$$A^* \quad a^* = 0.154399 \quad b^* = 0.117694 \quad c^* = 0.171760$$

$$\beta^* = 115^\circ 09'$$

$$a^* : b^* : c^* = 1.311872 : 1 : 1.459377$$

Cristales con hábito prismático:

$$B^* \quad a^* = 0.1574 \quad b^* = 0.1149 \quad c^* = 0.1493$$

$$\beta^* = 64^\circ 28'$$

$$a^* : b^* : c^* = 1.3698 : 1 : 1.2993$$

Contenido de la celda:

$$V(A) = 353.966560 \text{ \AA}^3 = 351.83021 \text{ kX}^3$$

$$V^*(A) = 0.002825$$

$$Z = 4$$

Grupo espacial: $C_{2h}^6 - C2/c$ (Kokkoros) $C_{2h}^3 - C2/m$ (Machatschki)

Reflejos: $h \ k \ l$ sólo con $h + k = 2n$
 $h \ 0 \ 1$ " " $h = 2n$; $l = 2n$
 $0 \ k \ 0$ " " $k = 2n$

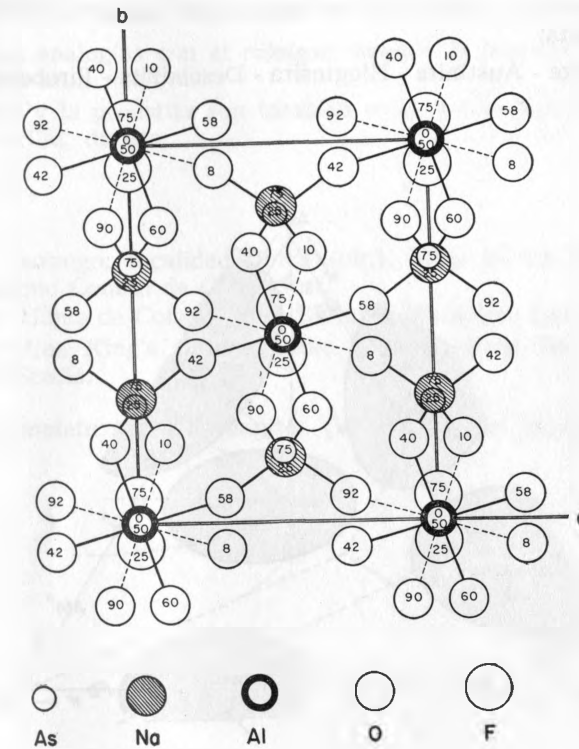
Factor de estructura:

$$F_{\cdot} = 8 \cos 2\pi(hx + lz) \cos 2\pi ky, \quad \text{para } l = 2n$$

$$F_{\cdot\cdot} = -8 \sin 2\pi(hx + lz) \sin 2\pi ky, \quad \text{para } l = 2n + 1$$

Coordenadas atómicas:

	$2\pi x$	$2\pi y$	$2\pi z$	x/a	y/b	z/c	Posición
As	0°	114°	90°	0	0.317	0.25	(e)
Al	0°	0°	0°	0	0	0	(a)
Na	0°	240°	90°	0	0.667	0.25	(c)
F	0°	340°	90°	0	0.944	0.25	(e)
O.	75°	156°	150°	0.208	0.433	0.417	(f)
O..	33°	76°	35°	0.092	0.211	0.097	(f)



Posición sistemática:

Strunz (1949): Clase VII. FOSFATOS (ARSENIATOS Y VANADATOS)

B. Fosfatos anhidros, arseniatos y vanadatos con cationes extraños.

a) Con cationes medianos.

8. Grupo de la tilasita

1. Tilasita, DURANGITA, arseniopleíta (As)
2. Scholzita (Fosfato)
3. Hügelita (Vanadato).

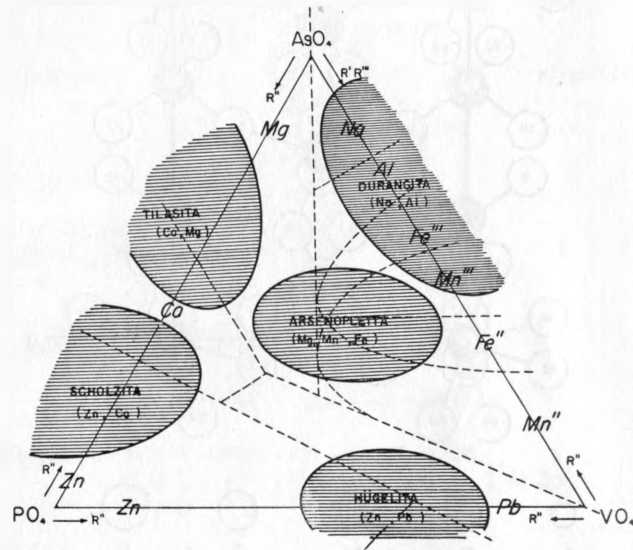
Isomorfismo (Strunz, 1939):

El grupo de

Tilasita - crifolita - durangita - titanita

forma un conjunto monoclinico en doble serie isomorfa con el ortoclinico de la descloizita:

Adelita - Austinita - Higginsita - Descloizita - Pirobelonita



Yacimiento:

Yacimiento típico (descubrimiento): Placeres estanníferos de las barrancas, cerca de la mina Potrillos, Distr. Minero América-Sapierís, Municipio Coneto de Comonfort, Durango, México.

Mineralogénesis: Emanaciones neumatolíticas arsenicales, en terrenos riolíticos.

Los ejemplares canadienses, formados probablemente por regresión del fluo-fosfato (ambligonita), debida a las mismas emanaciones.

Paragénesis: En los yacimientos mexicanos se hallan también: casiterita, especularita, cuarzo, fluorita, topacio, mimetita, sanidino y arcilla (montmorillonita, zeolitas).

En los yacimientos canadienses se cita ambligonita, en bloques pegmatíticos.

Minerales análogos:

Preferentes analogías con el *rejalgar*, aunque la densidad y la dureza de la durangita sean mayores.

El cinabrio y la proustita son también rojos y con raya amarilla; mas de diferente brillo, dureza,...

Localidades:

México: Durango: localidad típica (cit.). Mina de La Barranca (Potrillos), Municipio Coneto de Comonfort.

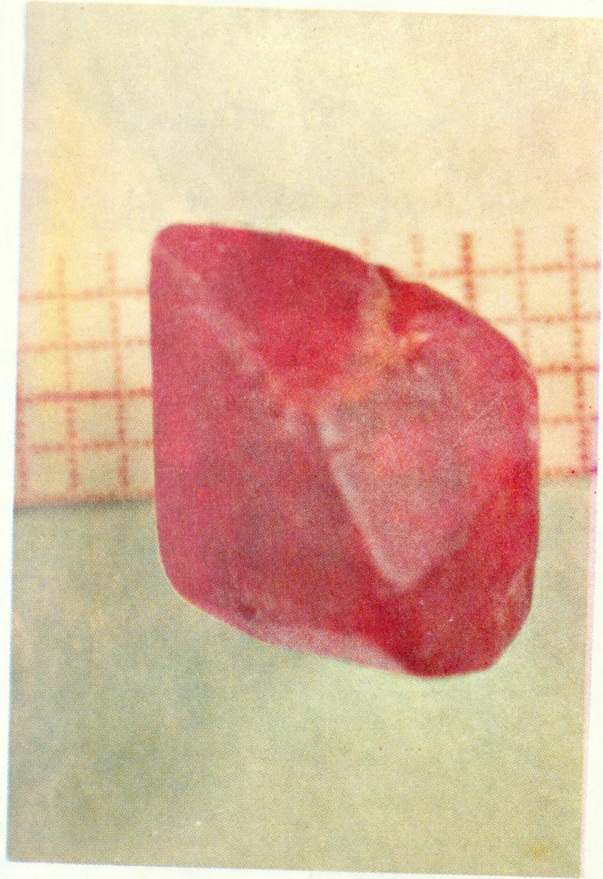
Durango: Minas de Coneto y del Refugio, Municipio San Juan del Río.

Canadá: Mina King's tinlode, Lake Ramsay, New Ross, Lunenburg county, Nova Scotia.

Bibliografía completa sobre durangita: (V. al final del informe).

ESTUDIO CRITICO

ESTUDIO CRISTAL



Cristal de Durangita

DURANGITA (Brush, 1869)

Durangita (Na (Al, 2 Fe) [F, O | AsO₄])
 $a_0 = 7.1554$; $b_0 = 8.4974$; $c_0 = 6.4315$
 $\beta = 64^\circ 50' 46''$
 $a_0 : b_0 : c_0 = 0.8420 : 1 : 07569$

Hintze (1933) 631:

Durangita As[AlF]Na $a : b : c = 0.7715 : 1 : 0.8249$
 $\beta = 115^\circ 13'$ (Des Cloizeaux, 1875)

Strunz (1949) 164:

Durangita NaAl[F|AsO₄] $a_0 = 6.53$ $b_0 = 8.46$ $c_0 = 7.30$
 $a_0 : b_0 : c_0 = 0.772 : 1 : 0.863$
 $\beta = 119^\circ 22'$ (Kokkoros, 1937)

$Z = 4$ $C_{2h}^6 - C 2/c$

Dana 2(1957) 829:

Durangita [NaAlF (AsO₄)] $a_0 = 6.53$; $b_0 = 8.46$; $c_0 = 7.00$
 $a_0 : b_0 : c_0 = 0.772 : 1 : 0827$
 $\beta = 115^\circ 00'$ (Machatschki, 1941)
 $Z = 4$ $C 2/m$

NOMBRE

El nombre de DURANGITA le fue dado a esta especie por G. J. Brush (1869) en gracia al Estado mexicano, Durango, en donde se descubrió la especie. Este autor fue el primero en estudiarla químicamente y decidió tratarse de una sustancia nueva.

Nótese que el apelativo asignado no es conforme a la fonía española: debería ser duranguita. Ello obedece a que un extranjero, como Brush, fijándose únicamente en la grafía sustituyó la última vocal por el prefijo *ite* según la terminología mineralógica inglesa y sin tener en cuenta los dos sonidos de la *g* española.

Es interesante el que S. Ulloa, en la versión española del informe sobre los yacimientos de estaño de Durango (Smith *et al.*, 1957) pág. 5,

escribe correctamente duranguita. Si se mantiene en este trabajo la ortografía habitual aunque se reconozca como la menos correcta, es por hallarse ya muy generalizada, a costa de aceptar los inconvenientes que resultarían al introducir innovaciones sin trascendencia.

SINONIMIA

Carece de sinónimos, a menos de considerar como tal su ortografía adecuada: *duranguita*.

PRIMERA PUBLICACION

George J. Brush.—Art. XIX. Contributions from the Sheffield Laboratory of Yale College.—No. XX. On Durangite, a fluo-arsenate from Durango in Mexico.

Amer. Journ. Scienc. II 48.143 (1869) 179-182.

Este artículo termina por una nota cristalográfica de Blake:

John M. Blake.—Preliminary Note on the Crystallization of Durangite.

Amer. Journ. Scienc. (II) 48.143 (1869) 182.

NOTICIA HISTORICA

La especie Durangita fue hallada en los depósitos de estaño de Durango, y unos ejemplares (3 cristales) fueron remitidos por Henry G. Hanks de San Francisco California a George J. Brush de la Universidad de Yale, para su estudio.

En la noticia inicial de Brush (1869) sobre su descubrimiento no se cita si los ejemplares se hallaron en México directamente por Hanks o éste los había recibido de alguna otra persona.

Brush hace de ellos un estudio químico muy detenido, y a base de la composición encontrada muy análoga a la de la ambligonita —con la diferencia de tratarse de un fluoarseniato, único compuesto químico conocido de esta naturaleza— le propone el nombre de DURANGITA.

En 1875 publica Des Cloizeaux un estudio más bien cristalográfico y cristalóptico sobre la durangita. En la designación de las caras sigue su notación, cuyos diedros mide sirviéndose de los goniómetros de aplicación y óptico de un limbo. Su trabajo de mediciones, bastante consciente, se completa por la investigación de sus índices y constantes ópticas. Para su composición química admite el análisis de Brush. El trabajo de Des Cloizeaux fue publicado en español en la revista La Naturaleza 4 (1877-79) de México.

Esas constantes establecidas por Des Cloizeaux han sido las utilizadas comúnmente por los mineralogistas.

Hawes (1876) hace un análisis de la durangita.

La atención mundial hacia esta especie mexicana atraviesa por un largo túnel, con ráfagas que recibe muy de tarde en tarde, cuales la determinación de sus índices de refracción (Larsen, 1921), su inclusión en las tablas de Mineralogía, . . . La cita de Johnston (1907) no aporta ningún conocimiento nuevo de este mineral, sino únicamente se informa haberse hallado en Nova Scotia, Canadá.

Resucita Strunz entre 1935 y 1939 el interés sobre nuestra durangita al estudiar el grupo de la tilasita, al que pertenece sistemáticamente, así como sus relaciones de isomorfismo e isotipismo.

Para subrayar este segundo período de atención hacia nuestra especie mexicana publica P. Kokkoros (1937 y 1938) desde el Instituto de Mineralogía de Tubingia, dos trabajos referentes a su estructura y afirmación de su isotipismo con la titanita. Emplea para ellos muestras de la localidad típica, que le fueron proporcionadas por la Casa Krantz (Bonn) y unos ejemplares del Berliner Mineralogisches Museum. Sale a la luz su primera referencia en Naturwissenschaften 25 (1937) 717 con la determinación de las dimensiones de la celda y grupo espacial —dando una orientación algo diferente a la de Des Cloizeaux: la antigua dirección $[10\bar{1}]$ es elegida como eje c— acompañando el artículo de una corta referencia sobre su semejanza con la titanita; al año siguiente completa su estudio en el Zeitschrift für Kristallographie (A) 99 (1938) 38-49 con su hipótesis de estructura y una síntesis de Fourier sobre (001).

La dificultad con que tropezó Kokkoros en sus estudios estructurales para hallar cristales naturales de durangita, movió a Machatschki (1941) a intentar la síntesis de la sustancia. Luego de algunos ensayos desafortunados consiguió algunos diminutos cristales de durangita, aunque algo diferentes de los naturales.

A las relaciones de isomorfismo esbozadas por Des Cloizeaux y por Kokkoros responde Strunz con una nota que deja por cerrada la cuestión.

POSICION SISTEMATICA

La primera posición sistemática de la durangita le fue asignada por Brush (1869) a base de criterios puramente químicos: su composición sugiere cierta analogía con la ambligonita (fluo-fosfato de Al, Li, Na) y puede tenerse como una ambligonita de ác. arsénico con pequeñas proporciones de Fe y de Mn, y más Na que Li; una parte de su 0 puede ser reemplazada por F. Concluye este autor que su especie es el único fluo-arseniato conocido: se ignoraba la existencia de la tilasita.

Sin embargo, en la nota de Blake (1869) a continuación de la descripción de Brush, decide que por las mediciones y los caracteres ópticos de la durangita, se le puede asignar un carácter monoclinico —confirmado después por Des Cloizeaux (1875), por Machatschki (1941) y por Kokkoros (1938)—, no correspondiente según él ni con la ambligonita ni con los

otros arseniatos ni fosfatos anhidros (?). En su búsqueda puramente comparativa y empírica por entre las páginas del Dana llega a descubrir su isomorfismo con la titanita (en sus variedades de esfena y de keilhautita), nesosilicatos muy alejado sistemáticamente de la durangita.

A este isomorfismo aluden Klockmann y Ramdhor (1945) en su sistemática y fue objeto de un estudio más detenido de Strunz (1935, 1938) que luego se verá.

Klockmann coloca a la durangita con estas categorías lógicas:

Clase VII. Fosfatos, Arseniatos y Vanadatos.

Sección 2°: Anhidros, con cationes extraños.

a/ Con cationes medianos (o pequeños) y muy grandes.

Grupo de la tilasita. Minerales isomorfos y análogos a la titanita. Monoclínicos.

Tilasita	[AsO ₄ | F] Ca Mg
Durangita	[AsO ₄ | F] Na Al
Arrojadita	[PO ₄ | OH] (Mn, Ca, Na) (Fe [·] , Fe ^{··} , Mg)
Grifita	[PO ₄ | OH] (Mn, Ca, Na) Mn [·] , Al
Arsenopleita	[(AsO ₄) ₃ | (OH) ₄] (Mn [·] , Mn ^{··} , Mg, Fe) ₄ (Ca, Mn)
Hügelita	vanadato de Zn, Pb.

Hintze (1933) cita a la durangita como especie independiente. Clase: Fosfatos, Arseniatos, Antimoniatos, Vanadatos, Niobiatos y Tantalatos.

I Parte: B. Fosfatos, Arseniatos y Vanadatos halogenados anhidros.

2° grupo: Sales de fórmula general RO₄ [Me[·]. X] Me[·]

3. Durangita

Strunz (1949) coloca a la durangita como Klockmann y Ramdhor (1945) en el grupo de la tilasita, aunque formando en realidad tres subgrupos: arseniatos, vanadatos y fosfatos, todos ellos con los vínculos comunes de isotipia con la titanita y de homeotipia con la descloizita.

Clase VII. Fosfatos (Arseniatos y Vanadatos)

B. Fosfatos anhidros, Arseniatos y Vanadatos con aniones extraños.

a) Con aniones medianos.

8. Grupo de tilasita, de minerales isotípicos con la titanita CaTi[O | SiO₄]; existiendo especial homeotipia con el grupo de la descloizita. Monoclínico prismático o domático.

Tilasita	CaMg [F | AsO ₄]
Durangita	NaAl [F | AsO ₄]
Scholzita	Ca ₃ Zn [OH | PO ₄] ₂ . (?) H ₂ O

Arsenopleita (Ca, Mn)₃ (Mn[·], Mn^{··}, Mg, Fe^{··})₄ [(OH)₄ | (AsO₄)₃ (AsO₃ OH)]

Hügelita Vanadato de Pb y Zn

Dana (1957) en cambio, concede a la durangita en su sistemática la categoría de grupo, aunque en colocación posterior a la tilasita:

Orden: Fosfatos, Arseniatos y Vanadatos.

Clase 41: Fosfatos anhidros, etc., con oxhidrilo o halógeno.

Tipo 5: AB(XO₄)Z_q

41.5.7 Durangita NaAl (AsO₄)F

En la síntesis de todos esos pareceres parece preferible y más ponderada la colocación asignada por Strunz, aunque teniendo muy en cuenta la autonomía que le otorga Dana a la durangita: dentro del grupo de la tilasita se pueden reconocer tres subgrupos bien definidos:

- Tilasita, durangita y arseniopleita (arseniatos)
- Scholzita (fosfato), con exclusión de la arrojadita y de la grifita que aunque químicamente parientes (Klockmann) se les ha de colocar en otros lugares, obedeciendo a consideraciones cristalo-gráficas.
- Hügelita (vanadato).

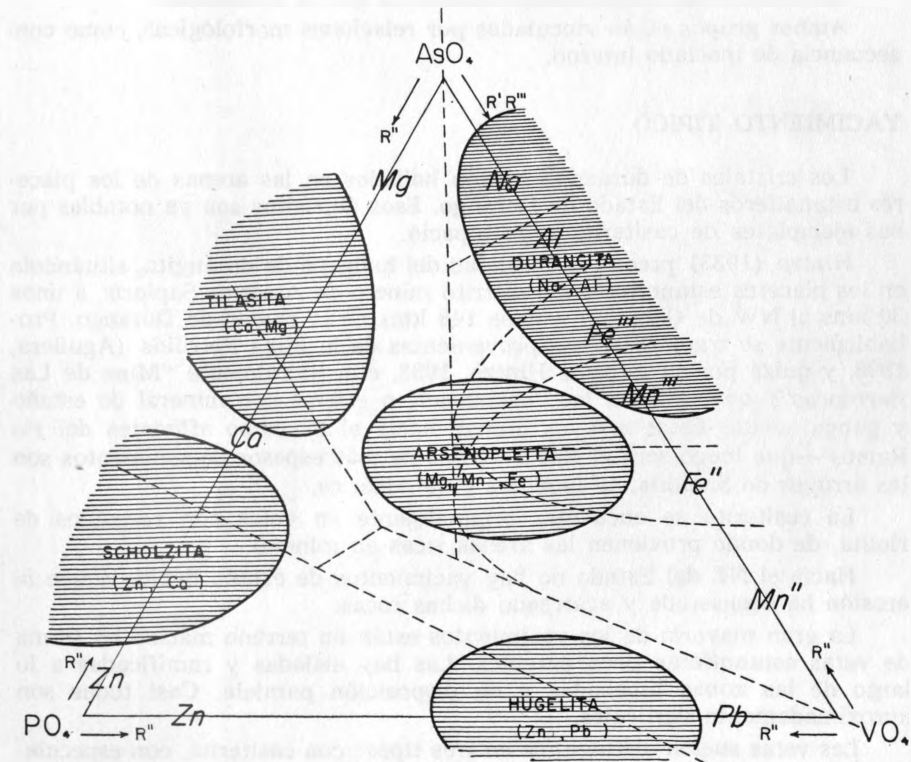


FIGURA 1. Grupo mineralógico de la tilasita, con los 3 subgrupos que comprende. Relaciones de parentesco entre sus componentes.

Aun dentro del subgrupo tilasita, éste y la durangita son muy análogos en estructura cristalina, aunque no así de los mismos grupos puntual ni espacial. Los cationes de la tilasita son divalentes; los de la durangita mono- y trivalentes.

El grupo tilasita - crifiolita - durangita - titanita, estudiado por Strunz (1939) forma un conjunto monoclinico en doble serie isomorfa con el conjunto ortoclinico de la descloizita:

		a _o	b _o	c _o		Z
Adelita	CaMg [OH | AsO ₄]	5.88	8.85	7.43	0.664 : 1 : 0.840	4
Austinita	CaZn [OH | AsO ₄]				0.657 : 1 : 0.832	
Higginsita	CaCu [OH | AsO ₄]	5.84	9.21	7.42	0.634 : 1 : 0.806	4
Descloizita	Pb (Cu, Zn) [OH | VO ₄]	6.05	9.39	7.56	0.644 : 1 : 0.805	4
Pirolonita	PbMn [OH | VO ₄]	6.22	9.57	7.74	0.650 : 1 : 0.809	4

En cuanto a la Duftita, Aräoxena y Volbortita, se han demostrado análogas a la adelita (diagramas de polvo).

La mottramita tiene mismas constantes que la descloizita.

Ambos grupos están vinculados por relaciones morfológicas, como consecuencia de maclado interno.

YACIMIENTO TIPICO

Los cristales de durangita fueron hallados en las arenas de los placeres estanníferos del Estado de Durango. Esos depósitos son ya notables por sus ejemplares de casiterita y de topacio.

Hintze (1933) precisa la localidad del hallazgo de durangita, situándola en los placeres estanníferos del distrito minero de América Saporís, a unos 30 kms al NW de Coneto y a unos 148 kms de la ciudad de Durango. Probablemente se trata de arenas provenientes de la Mina Potrillos (Aguilera, 1898, y quizá por su informe Hintze, 1933, cita literalmente "Mina de Las Barrancas") que rellenan las "barrancas" o grietas con mineral de estaño y ganga suelta. Estos arroyos drenan hacia el N, como afluentes del río Ramos —que luego será el Nazas—. Los de más espesor de sedimentos son los arroyos de Saporís, de Liendres y de América.

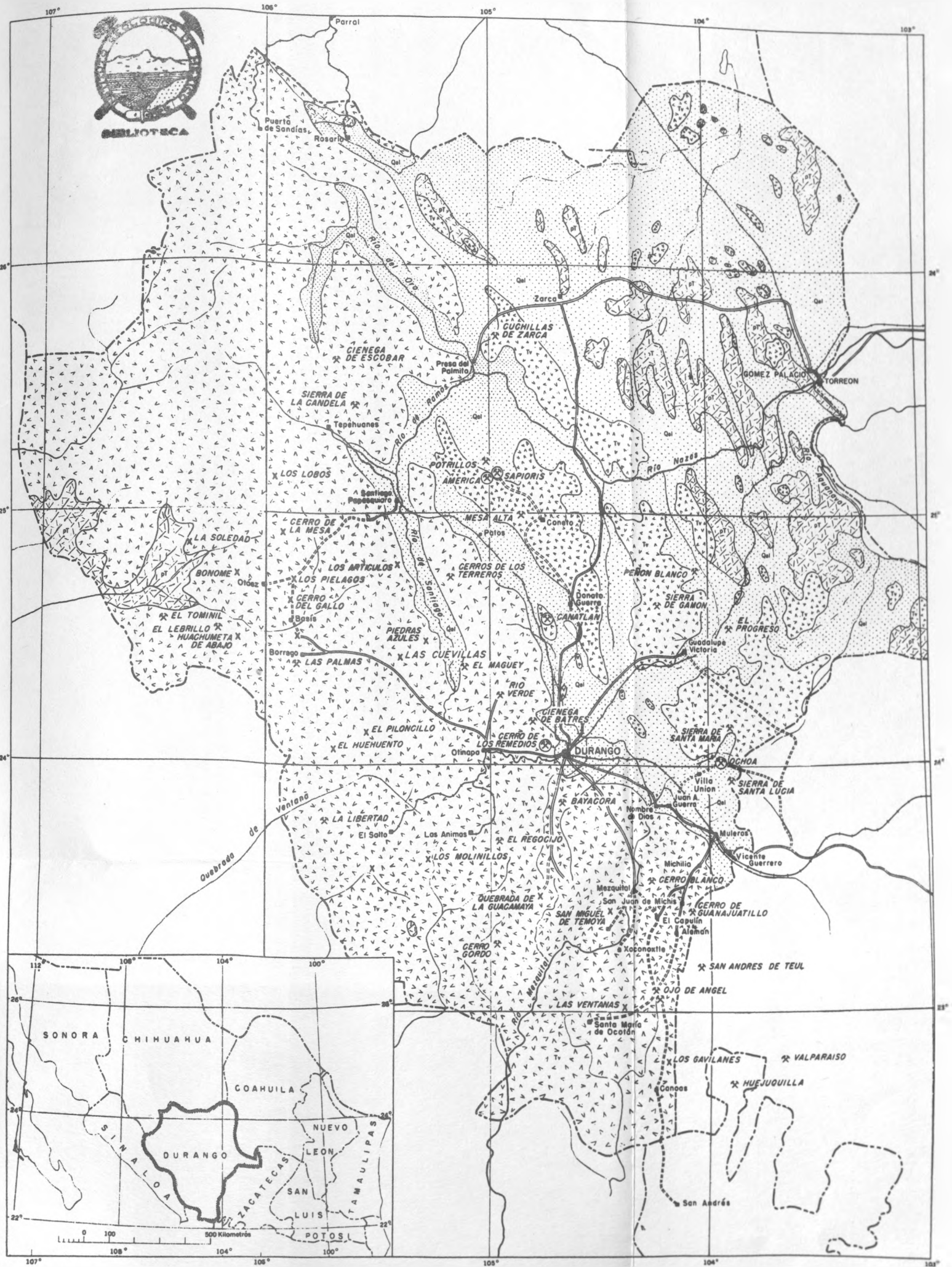
La casiterita se encuentra originalmente en vetas con respaldos de riolita, de donde provienen las arenas ricas en mineral.

Hacia el NE del Estado no hay yacimientos de estaño debido a que la erosión ha desgastado y acarreado dichas rocas.

La gran mayoría de los yacimientos están en terreno macizo en forma de vetas estanníferas poco potentes. Las hay aisladas y ramificadas a lo largo de las zonas brechadas y en disposición paralela. Casi todas son aproximadamente verticales.

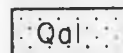
Las vetas suelen distinguirse en tres tipos: con casiterita, con especularita y con material arcilloso, que se entremezclan en proporciones varias. Entre los minerales acompañantes se dan el cuarzo (la tridimita, la cristo-





MAPA-INDICE DEL ESTADO DE DURANGO, QUE MUESTRA LA GEOLOGIA Y LA UBICACION DE LAS ZONAS ESTANNIFERAS

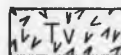
FIGURA 2. Mapa índice del Estado de Durango. Yacimiento típico.



Aluvi6n (Cuaternario)



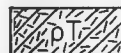
Zona estannifera no productiva



Rocas volc6nicas terciarias
y peque1os cuerpos intrusi-
vos (principalmente riolitas)



Ferrocarril



Rocas sedimentarias, metam6r-
ficas e 6gneas (preterciarias)



Camino en buen estado



Zona estannifera productiva



Camino en mal estado



Zona estannifera productiva
investigada.

LEYENDA EXPLICATIVA DE LA Fig.2

balita, calcedonia, ópalo), la fluorita, topacio, mimetita, arcillas (montmorillonita, zeolitas) sanidino y *duranguita* (Smith et al., 1957).

Los mejores cristales de durangita se han hallado entre la ganga suelta de esos placeres: los mayores de 3.022 grs con unos 19 mm de largo por 11 mm de ancho. Sólo se la ha encontrado cristalizada.

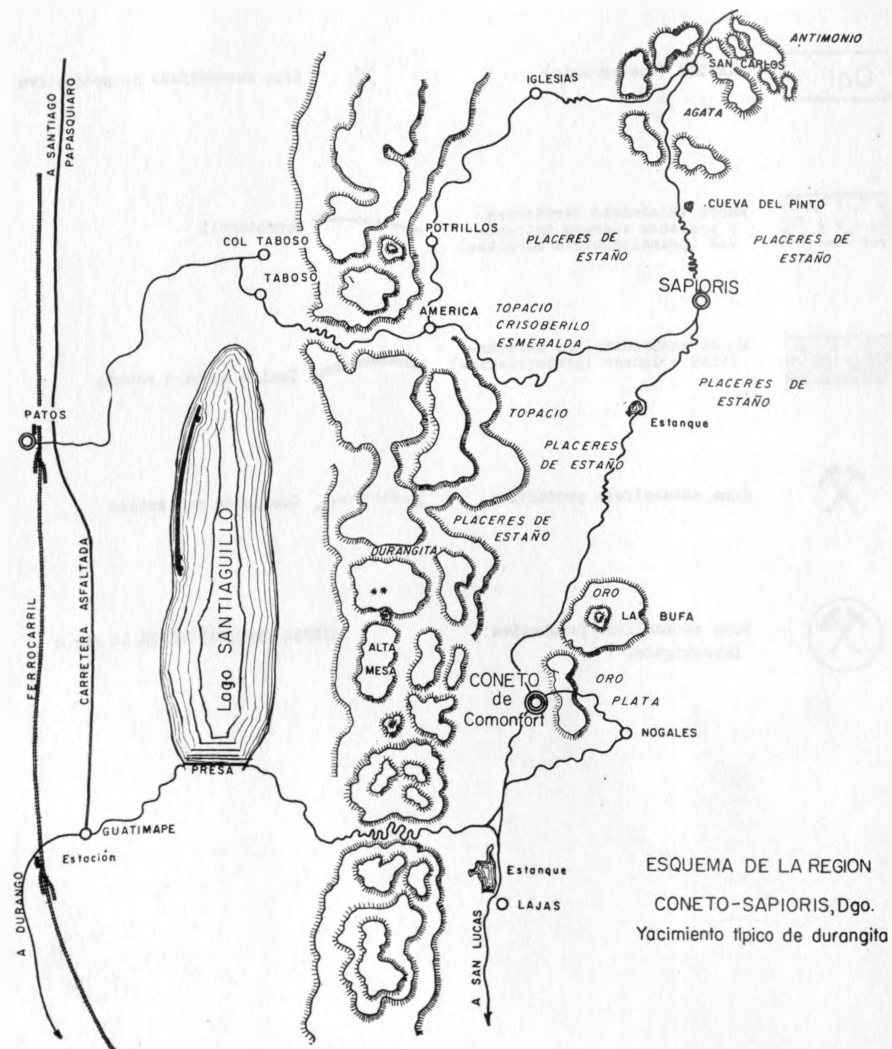


FIGURA 2 bis.

MINERALOGENESIS

La durangita es un producto neumatólitico (Dana, 1957). Las emanaciones arsenicales actúan sobre la fluorita y el feldespato de los placeres estanníferos, compuestos de los que es posible esperar la formación de durangita. Esas emanaciones tan típicamente volcánicas son explicables por la condición efusiva de los yacimientos riolíticos. El hecho de no encontrarse en incrustaciones sino en cristales y fragmentos aislados hace pensar que la formación no se realizó en los diques sino precisamente en el material de acarreo relleno de las "barrancas".

En cuanto a la formación de este mineral en la isla canadiense, es posible provenga por regresión, luego de haberse formado el fluofosfato (amblygonita): sería sustituido el radical fosfato por el arseniato bajo la acción de emanaciones ulteriores.

De todas formas, resulta inexplicable la coincidencia de tener su sede esa mineralogénesis en los placeres de estaño, con casiterita, no constituyente atómica de la durangita.

¿Podría ser una coincidencia fortuita su hallazgo en tales yacimientos o tratarse sólo de una sustancia accesorio, catalítica? La rareza de la especie por una parte, y lo común de las condiciones señaladas para su formación, por otra, hacen presumir la existencia de algún factor de condición ciertamente difícil de realizar.

LOCALIDADES

MEXICO: *Durango:* Localidad típica, en la *Mina de La Barranca* (sic, Hintze, 1933) a unos 30 kms al NW de Coneto y 148 kms de la ciudad de Durango, Dgo., en las arenas sueltas que constituyen los placeres estanníferos con casiterita y topacio. (Brush, 1869; Klockmann y Ramdhor 1945).

Aguilera (1898) cita además su existencia en las *minas de Coneto y del Refugio*, ambas como la de La Barranca, del municipio de San Juan del Río. Coneto de Comonfort es hoy en día la cabecera municipal (desde abril 1938) con algunas localidades de los municipios antiguos de San Juan del Río y de Rodeo.

Zacatecas: En el *Partido de Pinos*, municipio de Villa García (Aguilera, 1898). La cita se halla escueta, sin descripción ni fuente informativa alguna.

CANADA: Se le encontró con amblygonita en la *Mina de King's tinlode*, cerca de Lake Ramsay, New Ross, Lunenburg county, en la provincia marítima de Nova Scotia (Klockmann y Ramdhor, 1945). En la cita original de Johnston (1907) únicamente se da noticia de la durangita como de un ejemplar hallado en esa localidad, sin entrar en más particularidades.

EJEMPLARES ESTUDIADOS

Los ejemplares de que se ha dispuesto para la revisión crítica de esta especie son un cristal grande y de buena calidad, acompañado de varios

fragmentos, propiedad de la Colección Mineralógica de la antigua Escuela de Minería, hoy Sección de Geología de la Facultad de Ingeniería (aún mantenida en el edificio antiguo, Calle de Tacuba 5, México 1, D. F.), de la Universidad Nacional.

Esos ejemplares fueron facilitados galantemente por el Ing. Raúl Ortiz Asiain, conservador de esa notable colección de minerales.

PRESENCIA

Cual ya se ha indicado al estudiar su yacimiento, se encuentra durangita en cristales sueltos, acompañantes de los placeres de estaño, según las indicaciones que se tienen de sus yacimientos mexicano y canadiense (Hintze, 1933).

Además, se la ha encontrado con cuarzo, fluorita, topacio, especularita, mimetita y feldespatos en Durango, mientras en Nueva Escocia sólo la acompaña ambligonita en roca pegmatítica, según se tiene noticia.

HABITO

Bipiramidal oblicuo y prismático

Comúnmente se describen los cristales de durangita en los tratados de Mineralogía, como de color anaranjado y caras opacas y rugosas, más o menos oscuros según su cantidad de hierro. Los ejemplares estudiados no justifican exactamente esta descripción: su color es rojo carmín, traslúcidos y con aspecto resinoso; algunos fragmentos color melado. La rugosidad de las caras se debe a la corrosión propia del yacimiento en donde se les halla; sin embargo, sus reflejos goniométricos no desaparecen del todo, y aun se han podido observar bastante buenos en las caras prismáticas más sencillas.

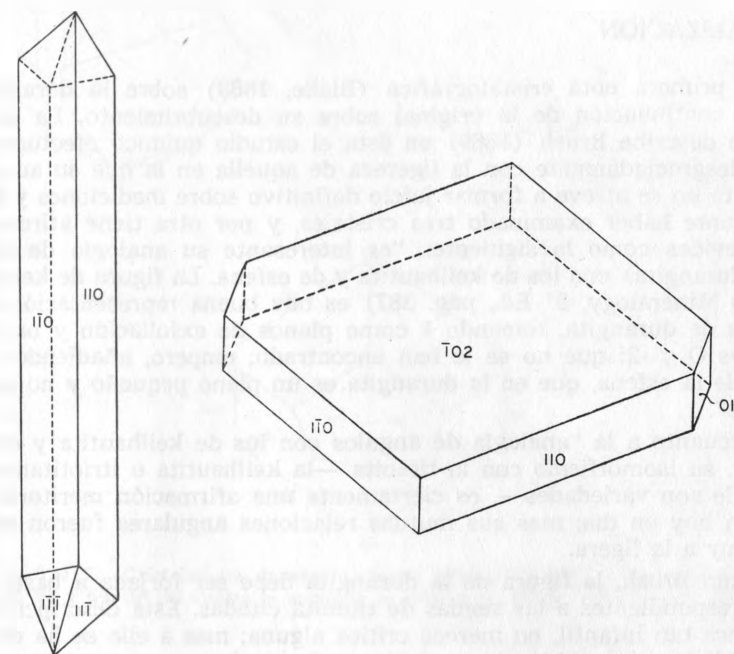
Su hábito es ciertamente bipiramidal oblicuo, a primera vista pseudo-ortoclínico. De orientarlos con su eje comúnmente admitido como *b* en sentido vertical, su aspecto sería más bien pseudo-hexagonal.

Dana (1957) los admite asimismo con hábito bipiramidal oblicuo, añadiendo la mención de las formas $\{111\}$ y $\{110\}$ como predominantes.

Por la consulta de los diferentes autores se deduce la impresión de que únicamente han podido estudiar en la durangita formas bipiramidales. Al seleccionar cuidadosamente el material para esta revisión crítica, cuyo ejemplar mayor y más perfecto es ciertamente así, y buscar entre los fragmentos alguno adecuado para ser sometido a los rayos X, se halló una barrita prismática $[001]$ bastante perfecta gracias al notable desarrollo de sus caras $\{100\}$ y $\{010\}$.

Los cristales artificiales son prismáticos $[101]$ por lo general: rara vez tabulares (Machatschki, 1941), limitados éstos por pinacoides $\{102\}$ casi

perpendiculares a las caras del prisma $\{110\}$. En todos esos cristales no se adivina la pseudo-hexagonalidad propia de las formas naturales (y recordada por Kokkoros) dado ese su preferente alargamiento prismático. Todos estos cristales sintéticos resultaron muy pequeños, de $1/3$ mm, y con brillo vivamente vítreo.



FIGURAS 3 y 4. Cristales artificiales de durangita. (Trazados según las figuras 2 y 3 de Machatschki, 1941).

En la descripción original de esta especie mineral, acabada de descubrir entonces por Brush (1869) se le atribuye un aspecto ortoclínico, de color anaranjado claro y muy parecidos los cristales a los de cromato de plomo de los Urales. Blake (1869), aunque examinó tres cristales prefirió con pusilanimidad excesiva "no formar juicio crítico sobre sus mediciones y hábito", contrastando más esta reserva con lo atrevido de la descripción cristalográfica que expone en su párrafo siguiente.

Hintze (1933) cita asimismo el parecer de Des Cloizeaux, como lo hace Dana. En el trabajo (de Des Cloizeaux) de 1875 se añade la mención sobre el aspecto corroído y escabroso de las caras de dichos cristales de aspecto ortoclínico con base rómbica, de 3-9 mm de longitud y 2-5 mm de anchura.

Kokkoros (1938) encuentra también que la generalidad de los cristales se hallan limitados por (110) y $\bar{1}\bar{1}1$, aunque ocasionalmente también por las caras (010), (100) y (111).

En cuanto al tamaño, se dan a los cristales "varios centímetros", lo cual es posiblemente un error de imprenta (Ref. en Struktur, 1838).

CRISTALIZACION

La primera nota cristalográfica (Blake, 1869) sobre la durangita se halla a continuación de la original sobre su descubrimiento. La seriedad con que describe Brush (1869) en ésta el estudio químico efectuado contrasta desgraciadamente con la ligereza de aquella en la que su autor, por una parte no se atreve a formar juicio definitivo sobre mediciones y hábito, no obstante haber examinado tres cristales, y por otra tiene afirmaciones tan atrevidas como la siguiente: "es interesante su analogía de ángulos (de la durangita) con los de keilhautita y de esfena. La figura de keilhautita (Dana's Mineralogy, 5° Ed., pág. 387) es una buena representación de los cristales de durangita, tomando 1 como planos de exfoliación y omitiendo las caras 0 y -2i que no se le han encontrado; empero, añadiéndole la 4i propia de la esfena, que en la durangita es un plano pequeño y no siempre presente".

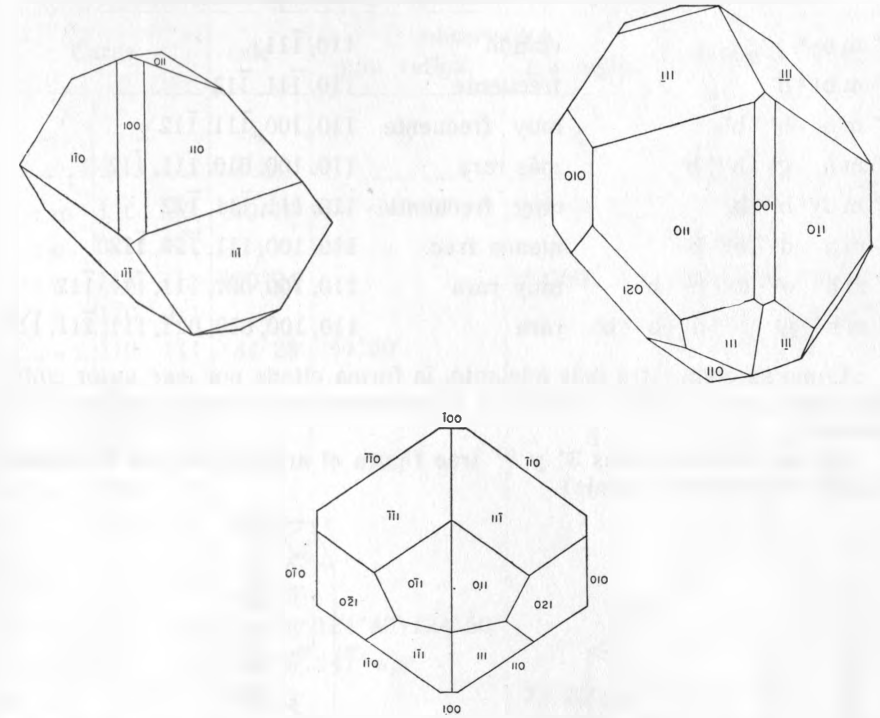
En cuanto a la "analogía de ángulos con los de keilhautita y esfena"; es decir, su isomorfismo con la titanita —la keilhautita o itriotitanita y la esfena, le son variedades—, es ciertamente una afirmación meritoria y reconocida hoy en día; mas sus mutuas relaciones angulares fueron establecidas muy a la ligera.

Según Brush, la figura de la durangita debe ser forjada a base de las dos correspondientes a las sendas de titanita citadas. Esta descripción cristalográfica tan infantil, no merece crítica alguna; mas a ella se ha de agradecer el haber descubierto sus relaciones isomorfas.

Brush descubre en la durangita su carácter monoclinico, confirmado posteriormente, aunque extraña la negación de correspondencia tan rotundamente generalizada que asevera con respecto a la singonia de la ambligonita (ciertamente de la holodría triclinica) "ni con los otros arseniatos ni fosfatos anhidros" (?).

La tabla de correspondencia que formó con toda probabilidad, entre las mediciones angulares de keilhautita, esfena y durangita (los tres citados por Dana) son un índice sobre el fundamento de afinidad que descubre entre sus respectivas relaciones angulares.

Des Cloizeaux (1875) describe la forma como un octaedro oblicuo de base rómbica. Esta afirmación tiene más importancia de la que pueda aparentar a primera vista; en efecto, más adelante demostraremos que la orientación morfológica más obvia, si bien no la más conveniente en concordancia con la estructural, de nuestro cristal de durangita, es precisamente pseudoortoclinica. Cuatro de sus caras con crucero neto, pueden



FIGURAS 5, 6 y 7. Cristales de durangita, según Hintze (1933). (Corresponden a sus figuras 62, 63 y 64, de las cuales la segunda es citada por Dana (1957), Vol. II, p. 830).

ser consideradas como caras verticales de prisma primitivo; las otras cuatro forman un truncamiento simétrico sobre las aristas básicas agudas de ese prisma. El ángulo anterior del prisma clino-rómbico fundamental es de $110^{\circ} 10'$. Para Blacke, ese ángulo difiere en $2'$ (planos de crucero).

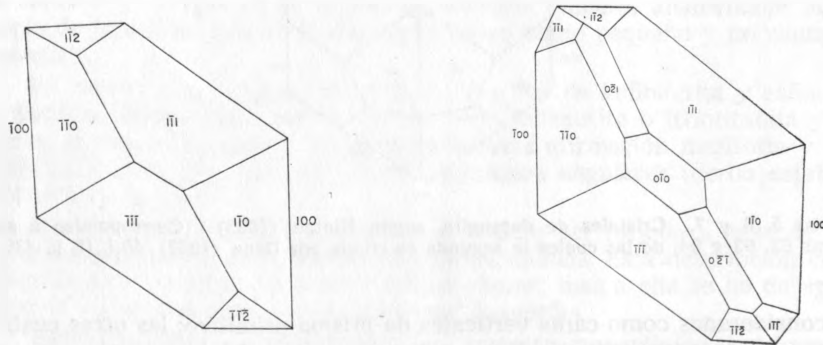
Combinaciones:

Las combinaciones de formas y su grado de frecuencia se expusieron ya desde el trabajo de Des Cloizeaux, aunque un poco atrevidamente ya que no fue tan ingente el número de cristales que estudió para poder deducir esas afirmaciones estadísticas. No obstante, la tabla resulta interesante. Como es difícil formarse una idea cabal con la notación de Des Cloizeaux, menos divulgada, en la que vienen las notaciones de las caras, se han transcrito en su columna de la derecha con notación de Miller correspondiente:

Combinaciones	Frecuencia	Correspondencia de notación
1° m b ^{1/2}	común	110, $\bar{1}11$
2° m b ^{1/2} b ¹	frecuente	110, $\bar{1}11, \bar{1}12$
3° m h b ^{1/2} b ¹	muy frecuente	110, 100, $\bar{1}11, \bar{1}12$
4° m h g ¹ b ^{1/2} b ¹	más rara	110, 100, 010, $\bar{1}11, \bar{1}12$
5° m d ^{1/2} b ^{1/2} b ¹	muy frecuente	110, 111, $\bar{1}11, \bar{1}12$
6° m h d ^{1/2} b ^{1/2} b ¹	menos frec.	110, 100, 111, $\bar{1}11, \bar{1}12$
7° m h e ^{1/2} d ^{1/2} b ^{1/2} b ¹	muy rara	110, 100, 021, 111, $\bar{1}11, \bar{1}12$
8° m h g ¹ e ^{1/2} d ^{1/2} b ^{1/2} b ¹	rara	110, 100, 010, 021, 111, $\bar{1}11, \bar{1}12$

Como se demuestra más adelante, la forma citada por este autor como (021) debe ser la (011). Este error se ha generalizado entre muchas publicaciones.

De las combinaciones 3° y 8° trae figura el artículo de Des Cloizeaux (figs. 8 y 9 de este trabajo).



FIGURAS 8 y 9. Cristales de durangita, según las representaciones aproximadas de Des Cloizeaux (1875). (Corresponden a las figs. 1 y 2 de su trabajo).

Formas observadas:

La relación de las formas observadas se refiere a la orientación morfológica de Des Cloizeaux; las otras orientaciones posteriores de Kokkoros y de Machatschki son más bien estructurales.

El primer autor publicó su tabla de ángulos interfaciales (columnas 1, 4, 5 y 6 de la siguiente), de la que Hintze (1933) cita algunos diedros (columna 7). En ella se pueden descubrir ciertas imprecisiones y la escasez así como la aproximación de los valores observados, sobre los cuales calculó todos los demás. La columna 8 transcribe las aberturas de los diedros considerados para expresarlos en distancias angulares de sus polos, ciñendo su número a los de un octante.

TABLA de los ángulos interfaciales publicados

Caras	calc.	observados		Hintze	Dist.	
		gon. reflex.	gon. aplic.			
1	2	4	5	6	7	8
m : m	110 : $\bar{1}10$	110° 10'	109° -110° 07'	110° 40' -111°	69° 50'	
e : e	021 : 021				112° 22'	
m : p	110 : 111	150° 24'		152° 30'	29° 32' 1/2	25° 36'
m : q	$\bar{1}10$: 011				72° 06'	103° 54'
m ¹ : π	110 : $\bar{1}11$	44° 28'	44° 30'		44° 28'	
p : p	111 : $\bar{1}11$				46° 15'	
q : q ¹	011 : 0 $\bar{1}1$				44° 33'	
π : π ¹	$\bar{1}11$: $\bar{1}11$				67° 50'	
a : p	100 : 111				38° 06' 1/2	141° 53' 1/2
a ¹ : π	$\bar{1}00$: $\bar{1}11$				61° 15' 1/2	
p : π	111 : $\bar{1}11$				80° 38'	
m : h	110 : 100	145° 05'				30° 55'
m : g ¹	110 : 010	124° 55'	124° 40' -124° 50'			51° 05'
e ^{1/2} : g ¹	021 : 010	146° 06'	147° apr.			33° 54'
m : b ¹	110 : $\bar{1}12$	72° 13'		73° 25' apr.		107° 47'
b ¹ : b ^{1/2}	$\bar{1}12$: $\bar{1}11$	152° 15'		152° 05'		
b ¹ : m	$\bar{1}12$: 110	107° 47'				
d ^{1/2} : b ^{1/2}	111 : $\bar{1}11$	74° 04'				66° 54'
g ¹ : d ^{1/2}	010 : 111	113° 06'				
d ^{1/2} : d ^{1/2}	111 : 111	133° 48'				
g ¹ : b ¹	010 : $\bar{1}12$	112° 13'				
b ¹ : b ¹	$\bar{1}12$: $\bar{1}12$	135° 34'				
g : b ^{1/2}	010 : $\bar{1}11$	123° 55'				
b ^{1/2} : b ^{1/2}	$\bar{1}11$: $\bar{1}11$	112° 10'				
d ^{1/2} : b ¹	111 : $\bar{1}12$	120° 06'				
m : b ¹	110 : $\bar{1}12$	97° 19'				43° 06'
e ^{1/2} : m	021 : 110	132° 04'				
m : b ^{1/2}	110 : $\bar{1}11$	85° 27'				
m : b ^{1/2}	110 : $\bar{1}11$	94° 33'				
b ^{1/2} : m	$\bar{1}11$: 110	135° 32'				

Orientación de las formas:

Los cristales de durangita se han orientado de cuatro maneras, y es conveniente aclararlas para evitar equívocos. En las figuras 10 a 13 se representan esas orientaciones en perspectiva isométrica para hacerlas más intuitivas. Se realizan sobre la representación de Hintze (1933) en su figura 63, que es la citada también por Dana (1957) vol. I, pág. 830. Si la empleamos también aquí con respecto a nuestro ejemplar de durangita es tan solo con fines didácticos ya que nuestra muestra no tiene tales caras (y puede verse en la fig. 20 bis). La observación de los esquemas ahorra toda explicación innecesaria.

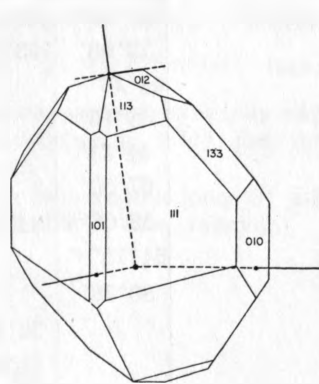


FIGURA 10.
Orientación I.

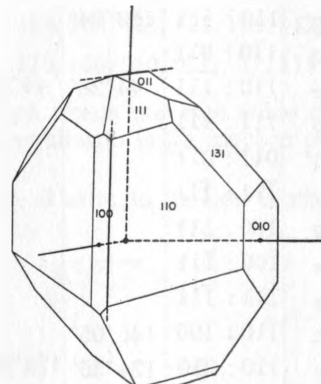


FIGURA 11.
Orientación II.

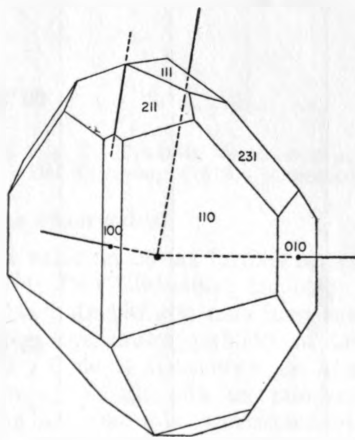


FIGURA 12.
Orientación III.

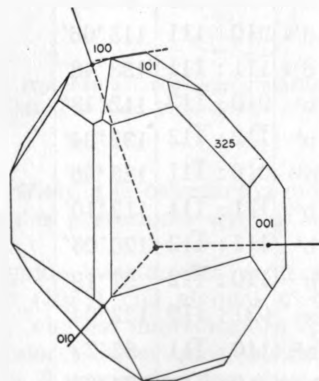


FIGURA 13.
Orientación IV.

ORIENTACIÓN I. FIGURA 10: Llamada MORFOLOGICA, por ser la más obvia.

Corresponde al estereograma de la figura 14.

ORIENTACIÓN II. FIGURA 11: Orientación de DES CLOIZEAUX, el eje c presupone la cara (001) no observada.

Corresponde al estereograma de la figura 15.

ORIENTACIÓN III. FIGURA 12: Orientación de KOKKOROS, admite los ejes a y b de Des Cloizeaux, mas el tercer eje c es paralelo a la arista [101] formada por las caras (120) y $(\bar{1}20)$. Fue necesaria para establecer las relaciones de isomorfismo de la especie (pág. 97).

Corresponde al estereograma de la figura 16.

ORIENTACIÓN IV. FIGURA 13: Orientación de FABREGAT: es una transformación de la I, obligada como eslabón entre ella (dadas las mediciones goniométricas) y la crítica que se hace sobre las mediciones que resultan de las orientaciones II y III a la luz de las mediciones röntgenológicas.

Corresponde al estereograma de la figura 17.

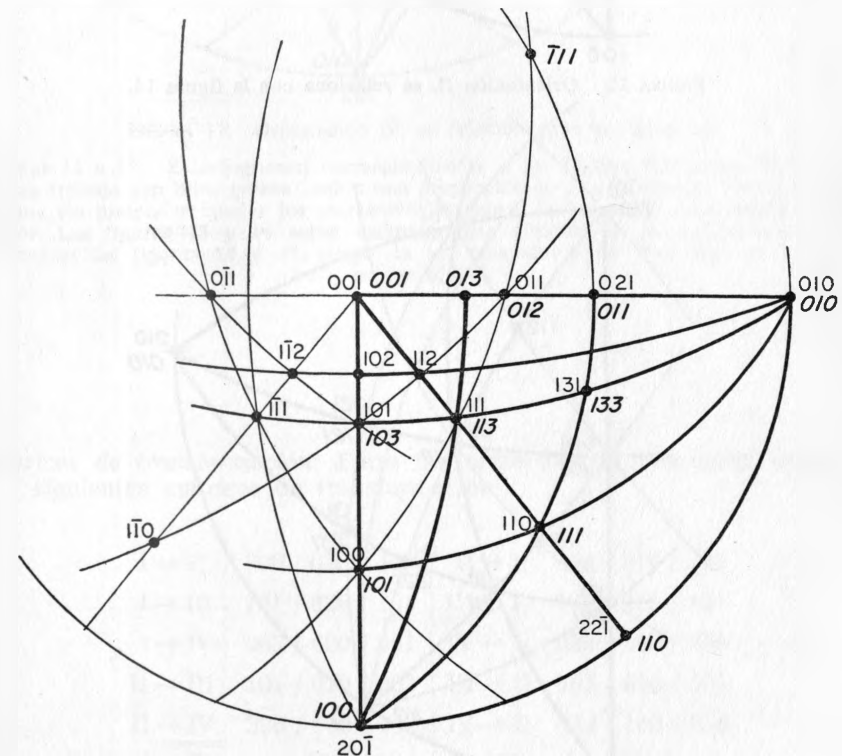


FIGURA 14. Orientación I, se relaciona con la figura 10. Las numeraciones asignadas a las caras son las correctas, teniendo en cuenta la modalidad de esta figura de Hintze.

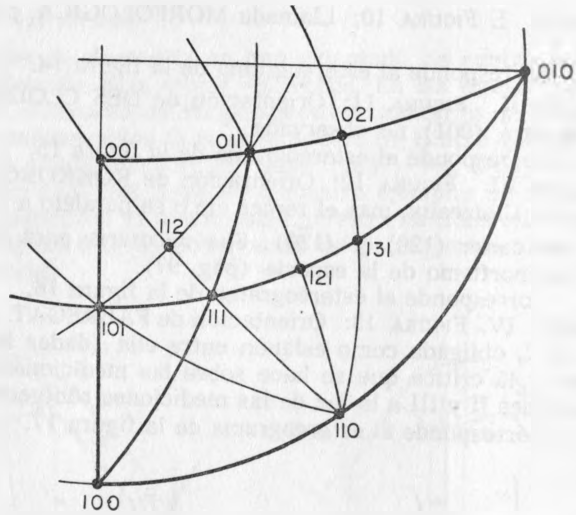


FIGURA 15. Orientación II, se relaciona con la figura 11.

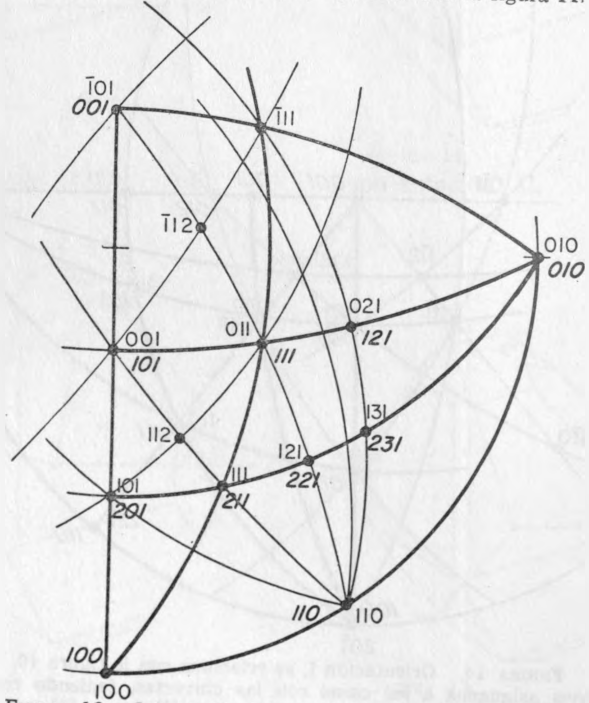


FIGURA 16. Orientación III, se relaciona con la figura 12.

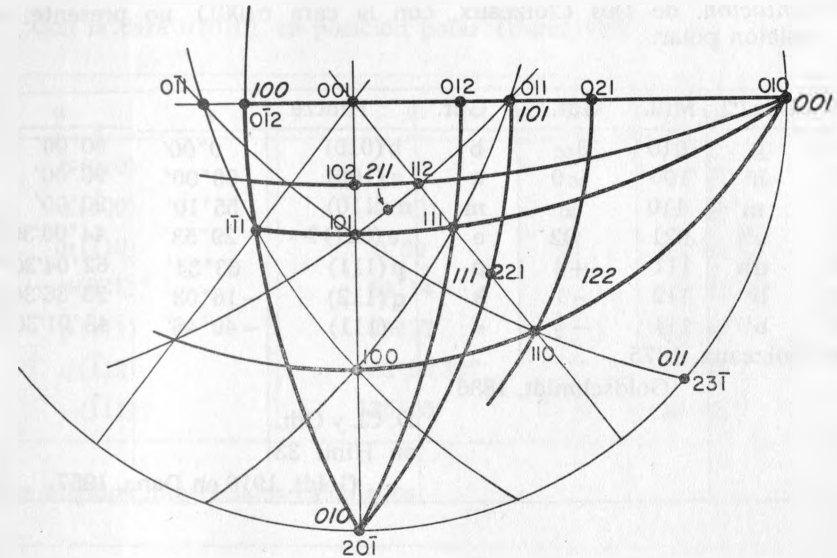


FIGURA 17. Orientación IV, se relaciona con la figura 13.

FIGURAS 14 a 17. Estereogramas correspondientes a las figuras anteriores. Todos ellos se han trazado (en línea gruesa) sobre una proyección de Des Cloizeaux (en línea fina), aunque sin pretender igualar los respectivos ángulos: se comparan únicamente orientaciones. Las figuras 15 y 16 sobre estereogramas directos de la orientación de Des Cloizeaux; las figuras 14 y 17, luego de ser traspuestos en unos 26°, al girar por su eje b[010].

Matrices de transformación: Entre las orientaciones anteriores rigen las siguientes matrices de transformación:

I → II	200 / 020 / $\bar{1}01$	II → I	100 / 010 / 102
I → III	101 / 020 / $\bar{1}01$	III → I	$10\bar{1}$ / 010 / 101
I → IV	003 / 600 / 041	IV → I	020 / $\bar{1}03$ / 400
II → III	101 / 010 / 001	III → II	$10\bar{1}$ / 010 / 001
II → IV	306 / 600 / 142	IV → II	020 / $\bar{1}03$ / $2\bar{1}0$
III → IV	303 / $60\bar{6}$ / 141	II → IV	210 / $\bar{1}03$ / $2\bar{1}0$

II. Orientación, de Des Cloizeaux, con la cara c(001) no presente, en posición polar:

No.	Des Cl.	Mill.	Gdt.	Gdt.	Hintze	φ	ρ
1	g^2	010	0∞	b	b(010)	$0^{\circ}00'$	$90^{\circ}00'$
2	h^1	100	$\infty 0$	a	a(100)	$90^{\circ}00'$	$90^{\circ}00'$
3	m	110	∞	m	m(110)	$55^{\circ}10'$	$90^{\circ}00'$
4	$e^{1/2}$	021	02	e	e(021)?	$29^{\circ}53'$	$44^{\circ}05'30''$
5	$d^{1/2}$	111	+1	p	p(111)	$63^{\circ}34'$	$62^{\circ}04'30''$
6	b^2	112	-1	k	q(112)	$-16^{\circ}03'$	$23^{\circ}36'30''$
7	$b^{1/2}$	111	$-\frac{1}{2}$	π	$\pi(111)$	$-40^{\circ}46'$	$48^{\circ}01'30''$

Des-Cloizeaux, 1875.....
 Goldschmidt, 1886
 D. Cl. y Gdt. en Hint. 33
 Goldt. 1916 en Dana, 1957

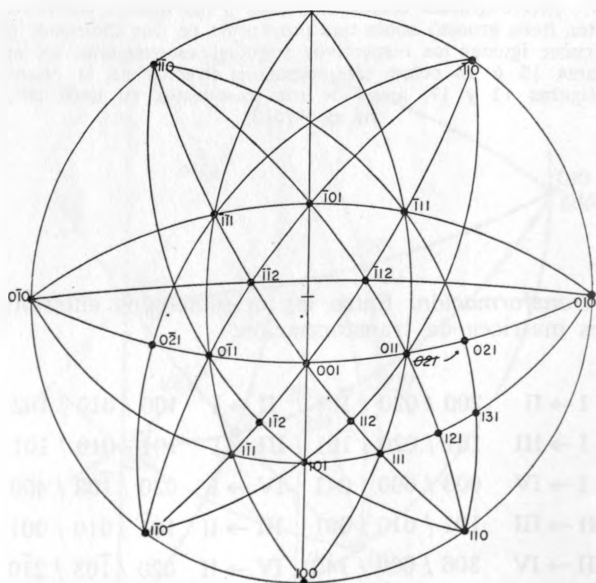


FIGURA 18. Estereograma de durangita sobre (001), Des Cloizeaux. Corresponde a una trasposición de la figura 15.

Con la cara b(010) en posición polar (Dana, 1957):

	φ_2	ρ_2
b(010)	...	$0^{\circ}00'$
a(100)	$0^{\circ}00'$	$90^{\circ}00'$
m(110)	$0^{\circ}00'$	$55^{\circ}10'$
e(021)?	$64^{\circ}14'$	$52^{\circ}53'30''$
p(111)	$30^{\circ}37'$	$66^{\circ}50'$
q($\bar{1}12$)	$96^{\circ}53'30''$	$67^{\circ}22'$
$\pi(\bar{1}11)$	$125^{\circ}55'$	$55^{\circ}44'$

y los ángulos interfaciales calculados:

	Ángulos interfaciales:	
	c(001)	c(100)
b(010)	$90^{\circ}00'$	$90^{\circ}00'$
a(100)	$64^{\circ}14'$	...
m(110)	$69^{\circ}06'$	$34^{\circ}50'$
e(021)?	$37^{\circ}06'30''$	$69^{\circ}43'$
p(111)	$40^{\circ}02'$	$37^{\circ}42'$
q($\bar{1}12$)	$39^{\circ}00'30''$	$96^{\circ}21'30''$
$\pi(\bar{1}11)$	$66^{\circ}55'$	$119^{\circ}02'30''$

siendo el ángulo β de $115^{\circ}46'$.

Al formar Goldschmidt la antepenúltima tabla de coordenadas, que es asimismo la citada por Dana (1957), tuvo el error de designar como cara e(021) la de coordenadas $\varphi = 29^{\circ}53'$ y $\rho = 44^{\circ}05'30''$, siendo así que por las relaciones zonales que se evidencian en el estereograma debe tratarse del polo (011), desplazando aquél a su lugar correcto.

A propósito de esta orientación, publica Machatschki (1941) la tabla de sus mediciones efectuadas sobre cristales sintéticos de durangita, obtenidos por él. Su hábito es monoclinico prismático, limitado por un prisma vertical que se admite como el {110} (figuras 3 y 4):

Angulos	Observados	Calculados
(110 ; $\bar{1}\bar{1}0$)	69°28'	
(310 ; $3\bar{1}0$)	aprox. 25°	26°02'
(110 ; $1\bar{1}\bar{1}$)	aprox. 43°30'	43°41'
($1\bar{1}\bar{1}$; $1\bar{1}\bar{1}$)	70°40'	
(110 : $1\bar{1}\bar{1}$)	86°	

haciendo notar que la pequeñez de sus caras (aristas de 1-2 mm) le impidieron lograr mayor exactitud. (?)

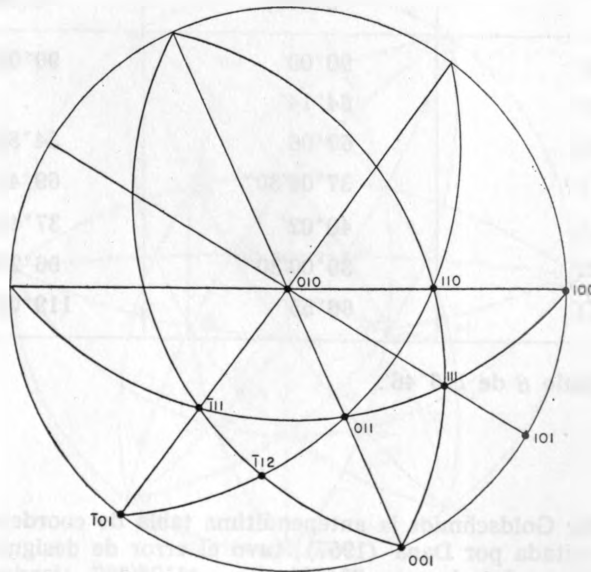


FIGURA 19. Estereograma de durangita sobre (010). Es una trasposición de la figura anterior.

III. Orientación de Kokkoros.

Cual ya se indicó a propósito de la comparación de orientaciones, para patentizar su relación estructural con la titanita, Kokkoros (1938) propuso esta nueva, algo diferente de la reconocida hasta aquel entonces, y que más bien se refiere a una nueva posición de la celda elemental (cuyos parámetros calcula para ambos casos: mantiene los ejes a y b de Des Cloizeaux, eligiendo por c la dirección $[10\bar{1}]$ de aquél.

Orientaciones I y IV.

La orientación más obvia del cristal de durangita nos ha parecido ser la indicada en la fig. 10, y en el estereograma de la fig. 14, basándonos en consideraciones puramente formológicas y manuales. Con ella se efectuaron las mediciones goniométricas y los primeros cálculos; mas al lograr los diagramas directos de la red recíproca por el procedimiento de precesión, se demostró como más adecuada, a la vez que se presta mejor a la comparación con las mediciones de los otros autores, la resultante de intercambiar

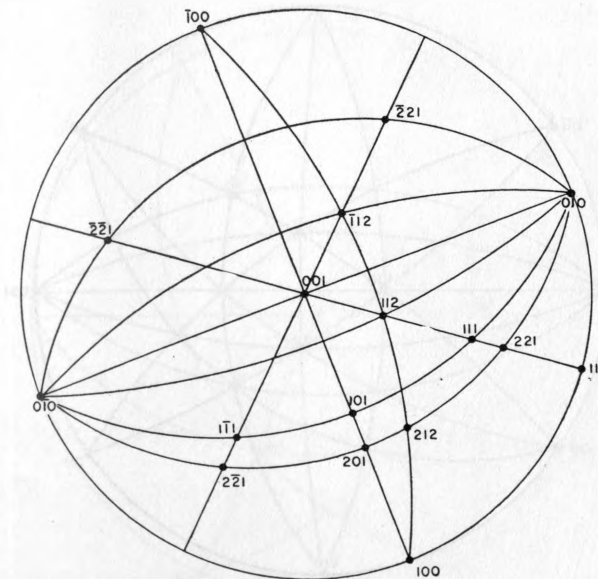


FIGURA 20. Proyección estereográfica de la medición goniométrica del cristal de durangita, en orientación I. Centrado según una cara.

mutuamente los 3 ejes cristalográficos, a la vez que adoptar como vertical, no como perpendicular al plano formado por los otros dos [101-010], sino inclinado, apartándose angularmente $25^{\circ} 09'$ del centro del estereograma ($\beta = 64^{\circ} 50' 46''$) (fig. 17).

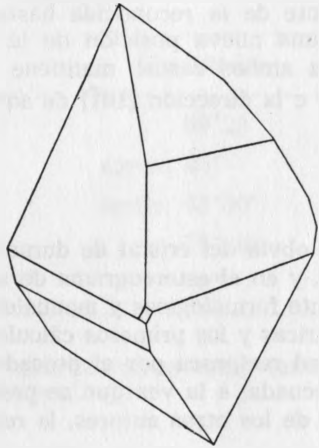


FIGURA 20 bis. Trazado de un cristal de durangita, con base en una fotografía (cf. fig. 20)

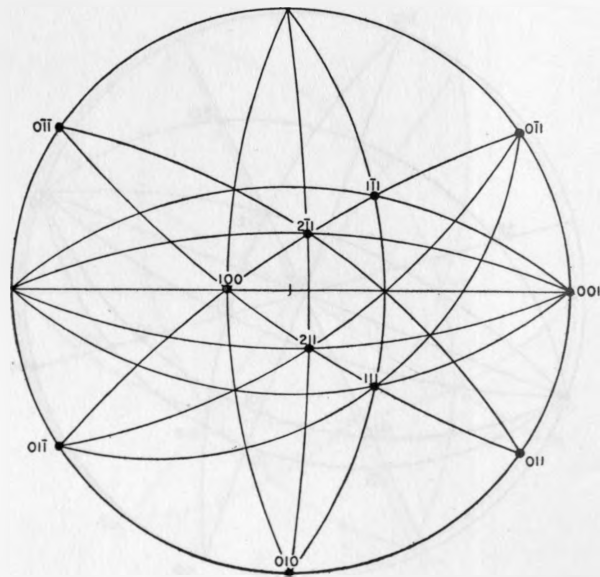
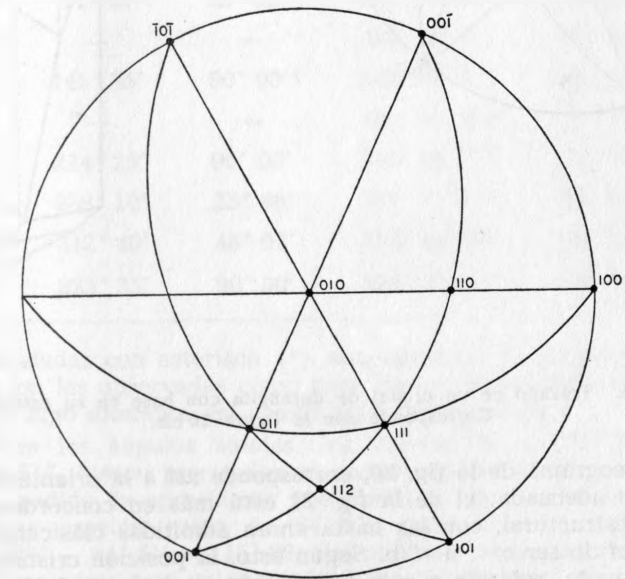
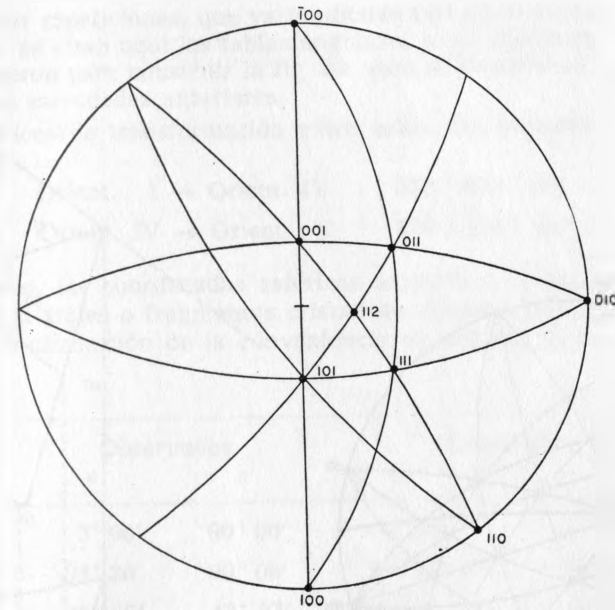


FIGURA 21. Estereograma de los cristales estudiados. Orientación IV. Proyección sobre (100).



FIGURAS 22 y 23. Estereogramas de durangita, sobre (001) y (010).

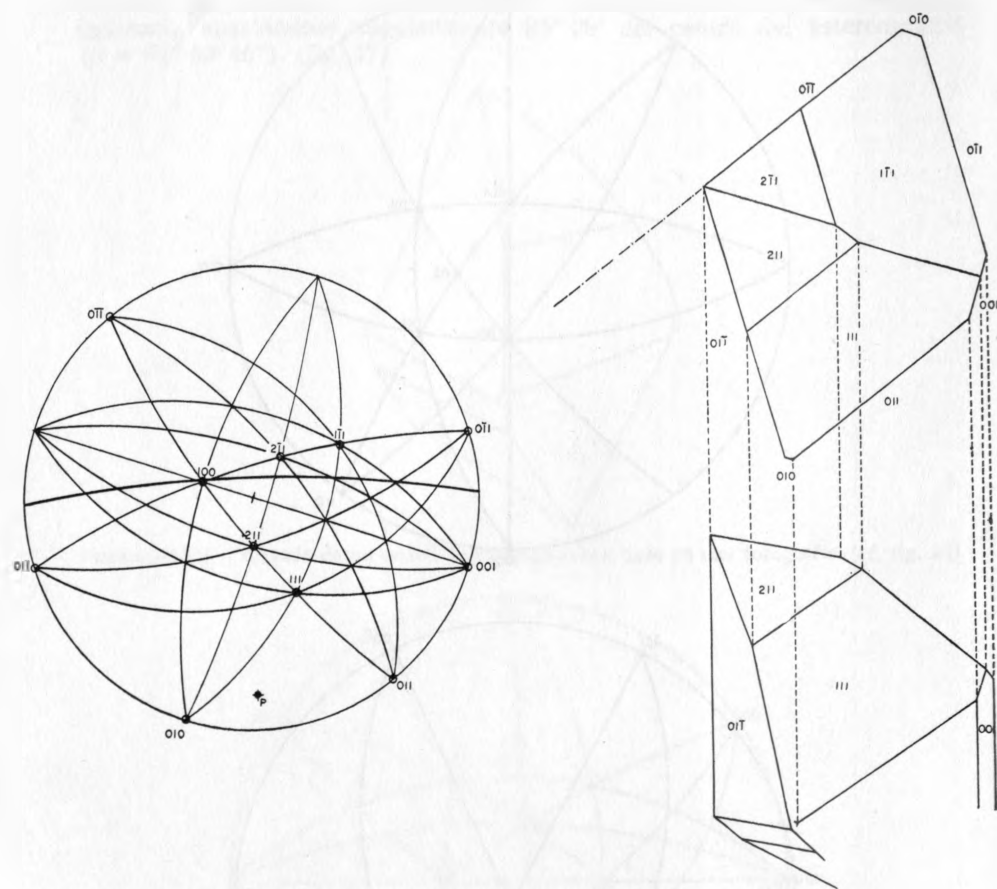


FIGURA 24. Trazado de un cristal de durangita con base en su estereograma. Corresponde con la figura 20 bis.

El estereograma de la fig. 20, corresponde así a la orientación aparentemente más adecuada; el de la fig. 21 está más en concordancia con la orientación estructural, con las hasta ahora admitidas clásicamente y con la convención de ser $c < a < b$. Según esto, la posición cristalográfica de nuestra durangita, referida a esta orientación, sería la de la fig. 21, como la más correcta.

Para evitar repeticiones, que ya implícitas por las ecuaciones de transformación, no se citan aquí las tablas angulares ni de coordenadas esféricas que se obtuvieron para construir la fig. 20: ésta se transformó en la fig. 21, a tenor de las salvedades anteriores.

Las matrices de transformación entre estas dos orientaciones I y IV, son:

$$\text{Orient. I} \rightarrow \text{Orient. IV} : 003 / 600 / 041$$

$$\text{Orient. IV} \rightarrow \text{Orient. I} : 020 / \bar{1}03 / 400$$

En cambio, las coordenadas esféricas azimutales leídas goniométricamente sobre cristales o fragmentos cristalinos (Orient. IV) se dan en esta tabla como confirmación de la conveniencia en aceptar la colocación propuesta:

Caras	Observadas		Calculadas	
	φ	ρ	φ	ρ
001	0° 00'	90° 00'	0° 00'	90° 00'
011	34° 20'	90° 00'	34° 20' 24"	90° 00'
111	48° 05'	48° 27'	48° 06' 02"	48° 26' 46"
211	71° 27'	23° 50'	71° 27' 15"	23° 50' 00"
*010	—	—	90° 14'	90° 00'
01 $\bar{1}$	145° 35'	90° 00'	145° 34' 52"	90° 00'
*100	—	—	180° 00' 00"	25° 09' 14"
0 $\bar{1}\bar{1}$	214° 25'	90° 00'	214° 25' 27"	90° 00'
2 $\bar{1}\bar{1}$	288° 10'	23° 48'	288° 11' 07"	23° 48' 12"
1 $\bar{1}\bar{1}$	312° 40'	48° 02'	312° 40' 16"	48° 02' 27"
0 $\bar{1}\bar{1}$	325° 35'	90° 00'	325° 35' 01"	90° 00'

Las señaladas con asterisco (*) son caras no presentes en el cristal; las demás son las observadas como muy buenas en nuestro ejemplar; cual se constata, algo diferente del generalizado hasta ahora.

De entre los ángulos axiales, los valores de $\alpha = 89^\circ 45' 55''$ y de $\gamma = 89^\circ 26' 51''$, fueron precisados estructuralmente: dadas las condiciones del cristal medido, la apreciación goniométrica fue de 90° para ambos. El ángulo β se apreció como de $64^\circ 51'$ (calc. $\beta = 64^\circ 50' 46''$), suplementario $180^\circ - 64^\circ 51' = 115^\circ 09'$ del análogo, clásicamente admitido, y prefiriendo nosotros este valor por lo dicho más arriba. Este cambio en la apreciación de β lo creemos de importancia y ha de subrayarse.

TABLA de ángulos interfaciales (Orient. IV), expresados como distancias angulares del estereograma.

	001	011	111	211	*010	01 $\bar{1}$	*100
001							
011	34° 20' 24"						
111	59° 48' 47"	43° 12' 13"					
211	82° 22' 54"	71° 00' 15"	27° 49' 00"				
*010	90° 00'	55° 34' 18"	56° 15' 13"	67° 31' 35"			
01 $\bar{1}$	145° 34' 47"	111° 09' 47"	96° 46' 58"	83° 50' 27"	55° 34' 52"		
*100	115° 09' 10"	110° 37' 29"	67° 24' 57"	39° 36' 40"	90° 09' 34"	69° 34' 23"	
0 $\bar{1}\bar{1}$	145° 34' 44"	180° 00'	136° 46' 54"	108° 59' 28"	124° 24' 05"	68° 50' 35"	69° 22' 50"
2 $\bar{1}\bar{1}$	82° 23' 55"	96° 17' 49"	62° 53' 39"	45° 14' 43"	112° 46' 17"	109° 48' 28"	39° 34' 13"
1 $\bar{1}\bar{1}$	59° 53' 02"	84° 47' 25"	67° 41' 58"	62° 47' 30"	123° 46' 47"	136° 50' 40"	67° 16' 26"
0 $\bar{1}\bar{1}$	34° 24' 59"	68° 50' 10"	84° 13' 01"	97° 07' 31"	124° 25' 15"	180° 00'	110° 25' 40"
	0 $\bar{1}\bar{1}$	2 $\bar{1}\bar{1}$	1 $\bar{1}\bar{1}$				
2 $\bar{1}\bar{1}$	83° 40' 16"						
1 $\bar{1}\bar{1}$	95° 38' 17"	27° 42' 24"					
0 $\bar{1}\bar{1}$	111° 09' 30"	70° 47' 53"	43° 09' 09"				

TABLA de comparación entre las constantes axiales admitidas.

Orient. Des Cloizeaux (II)	Orient. Kokkoros (III)	Orientac. Convec. $c < a < b$.
Cristales naturales		
Des Cloizeaux (1875) — — — — —		
1 $a_0 : b_0 : c_0 = 0.77158 : 1 : 0.82449$ $\beta = 115^\circ 13'$		2 $a_0 : b_0 : c_0 = 0.82449 : 1 : 0.77158$ $\beta = 115^\circ 13'$
Kokkoros (1938) — — — — —		
3 $a_0 = 6.53; b_0 = 8.46; c_0 = 7.00$ $\beta = 115^\circ 13'$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.7718 : 1 : 0.8274$ $a : b : c = 0.772 : 1 : 0.827$	4 $a_0 = 6.53; b_0 = 8.46; c_0 = 7.30$ $\beta = 119^\circ 22'$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.7718 : 1 : 0.8628$	5 $a_0 = 7.00; b_0 = 8.46; c_0 = 6.53$ $\beta = 115^\circ 13'$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.827 : 1 : 0.772$
Machatschki (1941) — — — — —		
6 $a_0 = 6.53; b_0 = 8.46; c_0 = 7.00$ $\beta = 115^\circ$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.7718 : 1 : 0.8274$	7 $a_0 = 6.63; b_0 = 8.57; c_0 = 7.30$ $\beta = 119^\circ 22'$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.774 : 1 : 0.852$	8 $a_0 = 7.06; b_0 = 8.57; c_0 = 6.63$ $\beta = 115^\circ 37'$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.823 : 1 : 0.774$
Fabregat (1964) — — — — —		
		9 $a_0 : b_0 : c_0 = 0.842 : 1 : 0.757$ $\beta = 64^\circ 51'$
		10 $a_0 = 7.155; b_0 = 8.497; c_0 = 6.432$ $\beta = 64^\circ 50' 46''$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.84206 : 1 : 0.75692$
Cristales artificiales		
Machatschki (1941)		
11 $a_0 = 6.69; b_0 = 8.66; c_0 = 7.27$ $\beta = 115^\circ 46'$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.773 : 1 : 0.840$	12 $a_0 = 6.63; b_0 = 8.68; c_0 = 7.26$ $\beta = 119^\circ 22'$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.763 : 1 : 0.836$	13 $a_0 = 7.27; b_0 = 8.66; c_0 = 6.69$ $\beta = 115^\circ 46'$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.839 : 1 : 0.774$
	14 $a_0 = 6.69; b_0 = 8.68; c_0 = 7.42$ $\beta = 118^\circ 18'$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.771 : 1 : 0.855$	15 $a_0 = 7.26; b_0 = 8.68; c_0 = 6.69$ $\beta = 115^\circ 54'$ $a_0 : b_0 : c_0 = 0.837 : 1 : 0.771$

De tales mediciones resulta en definitiva como apreciación morfológica,

$$a : b : c = 0.757 : 1 : 0.842$$

$$\alpha = 90^\circ \quad \beta = 64^\circ 51' \quad \gamma = 90^\circ$$

apareciendo la durangita como forma monoclinica, aunque por la precisión de los métodos röntgenológicos se la podría admitir realmente como triclinica, pseudomonoclinica.

Los estereogramas de las figuras 22 y 23 representan al cristal de la fig. 24, que es con la orientación adoptada, indicando los cambios de ejes correspondientes.

Observaciones a la tabla anterior: Se consignan en esta tabla las traslaciones elementales de la celda (siempre en unidades A) aunque adelantándolas, para hacerlas más completa y no tener que repartirla al tratar de estas dimensiones. La relación estructural se distingue de la morfológica por sus parámetros a, b, c_0 .

Con respecto a las constantes expuestas, cabe interpretarlas lo mejor posible puesto que las citas se hallan con ciertas variaciones y algunos errores: Dana (1957), por ejemplo, da las traslaciones elementales en kX aunque deban ser efectivamente unidades A. Algunas de las relaciones paramétricas de la tabla son directamente morfológicas, y otras coinciden con las estructurales; por ello se han acompañado de las dimensiones de la celda de donde provienen, aunque adelantando de su lugar este concepto.

Relaciones:

6, 9 y 11 —Estas traslaciones elementales las cita Dana (1957) como en kX, siendo en realidad A.

1 —Al referirse Machatschki a esta relación paramétrica la escribe como:

$$a : b : c = 0.772 : 1 : 0.825 \quad \beta = 115^\circ 46'$$

6 y 8 —Hay disconformidad.

7 —Esta relación es citada por Machatschki con el ángulo $\beta = 115^\circ 46'$, queriendo referirse probablemente a las 11 ó 13.

9 —Fue determinada morfológicamente por medición goniométrica, aunque transformados aquí los resultados a la orientación convencional. Se hace notar que no se pudieron apreciar exactamente los ángulos α y γ , dada la ausencia de las caras necesarias a este fin.

10 —Determinada röntgenográficamente.

11 —A estas relaciones habría que añadir la morfológica del mismo autor,

$$a : b : c = 0.787 : 1 : 0.856 ; \beta = 115^\circ 46'$$

aunque él la da como de orientación III.

14 —Machatschki (1941) pone como relación morfológica correspondiente la

$$a : b : c = 0.787 : 1 : 0.875 ; \beta = 118^\circ 18'$$

con orientación que dice ser la II.

COMPARACION DE LOS VALORES ANGULARES DADOS HASTA AHORA

Para poder juzgar sobre los valores angulares (convertidos en su caso a distancias interpolares) dados por cada autor, así como los de todos ellos, orientando los cristales de durangita según Des Cloizeaux (orientación II), se recalculan a base de sus respectivas relaciones paramétricas citadas y aplicando el método matricial de Bond, con límite en el primer cuadrante del estereograma normal.

Relación de Des Cloizeaux (1)

$$a : b : c = 0.77158 : 0.82449$$

$$\beta = 115^\circ 13'$$

$$M^* = \begin{bmatrix} 1.43255 & 0 & 0.571163 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1.21287 \end{bmatrix}$$

Relación de Kokkoros (3)

$$a : b : c = 0.77186 : 1 : 0.82742$$

$$\beta = 115^\circ 13'$$

$$M^* = \begin{bmatrix} 1.43203 & 0 & 0.57913 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1.20857 \end{bmatrix}$$

TABLA. COMPARACIÓN DE DISTANCIAS ANGULARES CALCULADAS

Diedros	Des Cloizeaux	Kokkoros	Machatschki
(100 : 101)	31°10'45"	30°59'18"	31°06'40"
(101 : 001)	33°36'50"	33°22'20"	35°00'36"
(100 : 001)	64°47'27"	64°23'48"	65°12'58"
(001 : 011)	36°43'10"	36°40'10"	37°13'58"
(011 : 010)	53°16'51"	53°14'30"	52°40'08"
(001 : 010)	90°	90°	90°
(100 : 110)	34°54'40"	34°58'50"	35°04'40"
(110 : 010)	55°05'20"	55°03'33"	54°58'00"
(100 : 010)	90°	90°	90°
(101 : 111)	23°07'20"	23°04'48"	23°50'15"
(111 : 010)	66°52'40"	66°55'12"	66°32'55"
(101 : 010)	90°	90°	90°
(110 : 111)	29°33'50'	29°22'25"	29°41'48"
(111 : 001)	40°01'35"	39°47'50"	40°39'18"
(110 : 001)	69°33'30"	69°14'26"	69°56'11"
(100 : 111)	38°07'20"	37°56'10"	38°30'17"
(111 : 011)	31°54'04"	31°42'10"	33°02'21"
(100 : 011)	70°01'32"	69°40'42"	70°31'55"

Relación de Machatschki (11)

$$a : b : c = 0.77251 : 1 : 0.83949$$

$$\beta = 115^{\circ}46'$$

$$M^* = \begin{bmatrix} 1.425608 & 0 & 9.549570 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1.191299 \end{bmatrix}$$

El juicio sobre los valores dados por los diversos autores se infiere directamente de la inspección de la tabla, lo que ahorra de numerosos comentarios. Para formarse una idea con respecto a los datos dados por Des Cloizeaux, p. ej., quien publicó los datos de observación más numerosos, es útil formar un cuadro en el que se podrían considerar:

Columna 1.—Diedros considerados.

Columna 2.—Distancias angulares de sus polos, calculadas a partir de la matriz constituida con base en la relación paramétrica.

Columna 3.—Valores publicados por Des Cloizeaux.

Columna 4.—Cálculo hecho por Hintze para esos mismos diedros.

Columna 5.—Valores correspondientes citados por Dana (1957).

Diedros	Angulos calculados	Cita: Des Cloizeaux	Cita: Hintze	Cita: Dana
1	2	3	4	5
(100 : 001)	64°47'27"	—	—	64°14'
(100 : 110)	34°54'40"	30°55'	34°55'	34°50'
(110 : 010)	55°05'20"	51°05'	—	—
(101 : 111)	23°07'20"	—	23°07'30"	—
(111 : 010)	66°52'40"	66°54'	—	—
(110 : 111)	29°33'50"	25°36'	29°32'30"	—
(111 : 001)	40°01'35"	—	—	40°02'
(100 : 111)	38°07'20"	—	38°06'30"	37°42'

Los resultados calculados por Hintze parecen más exactos que los de Dana. Los medidos por Des Cloizeaux y publicados por él presentan notables diferencias.

De mismo tenor se podría continuar esta tabla, analizando los diedros comparados en la precedente, aunque no se cree necesario en gracia a la brevedad.

COORDENADAS BIPOLARES

Dado el hábito bipiramidal de los cristales de durangita y la ausencia de las caras pinacoidales y algunas otras de reflejos menos claros, no resulta

expedito el cálculo tetragonométrico si se orientan los ejemplares del modo clásico. Con nuestra orientación (IV) propuesta, ofrecen en cambio muchas caras prismáticas y puede ser muy práctica su medición de coordenadas bipolares:

	c (001)	(011)	(011)	(111)	(211)
c (001)	0°00"	145°34'47"	34°20'24"	59°48'47"	82°22'54"
(011)	145°34'47"	0°00'	111°09'47"	96°46'58"	83°50'27"

	(011)	(111)	(211)	(011)	
	34°24'59"	59°53'02"	82°23'55"	145°34'44"	
	180°00'	43°09'09"	109°08'28"	68°50'35"	

ICONOGRAFIA

Las figuras publicadas hasta hoy son:

Durangita natural:

DES CLOIZEAUX, M.—Note sur la forme cristalline et sur les propriétés optiques de la durangite.—Ann. Chim. Phys. 4 (1875) 401-406. Traducción española del mismo trabajo: La Naturaleza 4 (1877) 44-47.

Figuras 1 y 2, que son las figuras 8 y 9 de este trabajo.

Probablemente son citadas por Goldschmidt en su "Atlas de las formas cristalinas", obra no consultada.

HINTZE, C.—Handbuch der Mineralogie. Vol. I, 4a. parte, 1a. mitad, pág. 631. Walter de Gruyter. Berlín y Leipzig (1933).

Figuras 62, 63, 64, que son las figuras 5, 6, 7 de este trabajo.

Dana (1957) vol. II, pág. 830, presenta la segunda de ellas.

ACTUALES.—Los cristales estudiados se representan en las figuras 24 y 20 bis.

Durangita artificial:

MACHATSCHKI, F.—Synthese des Durangites NaAlF, AsO₄. Z. f. K. 103 (1941) 221-227. Presenta como figuras 2 y 3 unos dibujos de sus cristales artificiales que en este trabajo se ofrecen como figuras 3 y 4. En su figura 1 publica una fotomicrografía de cristales maclados, que no se reproduce aquí por el peligro de no ser interpretada correctamente, dado el no disponer de ese material.

GRUPO PUNTUAL

Monocl. holoéd. - $C_{2h} - 2/m - M 1$

Desde Des Cloizeaux se ha colocado a la durangita en la clase monoclónica holoédrica, grupo puntual $C_{2h} - 2/m - M 1$, manteniéndola así con unanimidad por todos los autores posteriores. Considerando siempre las mismas formas, no cabía lugar a ninguna ambigüedad de interpretación.

Al encontrar por esta revisión crítica que se lleva entre manos que la durangita se aparta de la singonía monoclónica, tan sólo en $0^{\circ}30'$ que se encontró para su ángulo $\gamma^* = 90^{\circ}30'$, y por consiguiente pasaría a pertenecer a los grupos triclinicos, no se pretende decidir en última apelación sino únicamente exponer el estado actual del problema.

De haber determinado sólo morfológicamente las constantes axiales de nuestra especie, no habríamos percibido esta ligera desviación en una forma predominantemente piramidal y sin todos los pinacoides; más la fotografía directa de su red recíproca por el procedimiento de precesión es indudable. De todos modos queda a juicio del lector el elegir la solución que tenga por más congruente.

CRISTALIZACION ARTIFICIAL

En tiempos de Hintze (1933) no se había logrado aún la cristalización artificial de la durangita.

La dificultad por obtener ejemplares naturales, con que tropezó Kokkoros en Tubingia, al querer determinar la estructura de la durangita, movió a Machatschki (1941) en su intento por lograr algunos cristales sintéticos (figuras 3 y 4).

Luego de algunos ensayos desafortunados colocó en autoclave de acero a 200° y durante 36 horas, una pasta formada por la mezcla de ácido arsénico siruposo (obtenido por la solución de arsénico en ácido nítrico fumante mantenido en baño-maría) y criolita natural finamente pulverizada.

La cubierta del autoclave se halló tapizada por finos cristales de durangita aunque algo diferentes de los naturales. En particular, su color verde esmeralda claro se interpreta como proveniente de la solución sólida de ciertos iones de Va y de Cr del aparato que pasaron a sustituir algo del Al de la durangita.

PROYECCION GNOMONICA

En su Index der Kristallformen der Mineralien, cita Goldschmidt (1886) vol. I, pág. 519, los siguientes datos gnomónicos de la durangita:

DURANGITA Monoclónica.

Relaciones axiales:

$$a : b : c = 0.7715 : 1 : 0.8223 \quad \beta = 115^{\circ}13' \text{ (Des Cl., Groth, Goldsc.)}$$

Elementos:

$$\begin{aligned} a &= 0.7715 & a_0 &= 0.9382 & p_0 &= 1.0658 \\ c &= 0.8223 & b_0 &= 1.2161 & q_0 &= 0.7439 \\ \mu &= (180^{\circ} - \beta) = 64^{\circ}47' \end{aligned}$$

con los respectivos logaritmos, que aquí omitimos.

Más tarde, Goldschmidt 3(1916)77 citado por Dana (1892)780 y Dana (1957):

$$\begin{aligned} a : b : c &= 0.773 : 1 : 0.840 \text{ (Des Cloizeaux)} \\ \beta &= 115^{\circ}46' \\ p_0 : q_0 : r_0 &= 1.087 : 0.757 : 1 \\ r_0 : p_0 : q_0 &= 1.322 : 1.436 : 1 \\ \mu &= 64^{\circ}14' \end{aligned}$$

$$p'_0 = 1.207$$

$$q'_0 = 0.840$$

$$x'_0 = 0.483$$

Nosotros construimos su gnomograma a partir de la matriz recíproca llamada de Bond (pág. 87), con base en sus constantes estructurales, que precisan las morfológicas halladas:

$$\begin{aligned} a_0 &= 7.1554 \text{ A} & ; & & b_0 &= 8.4974 \text{ A} & ; & & c_0 &= 6.4319 \text{ A} \\ \alpha &= 89^{\circ}45'55'' & ; & & \beta &= 64^{\circ}50'46'' & ; & & \gamma &= 89^{\circ}26'51'' \end{aligned}$$

$$a_0 : b_0 : c_0 = 0.84206 : 1 : 0.75692$$

$$M^* = \begin{bmatrix} 0.154393 & 0 & -0.072999 \\ -0.000430 & 0.117694 & 0 \\ 0 & 0 & 0.155471 \end{bmatrix}$$

TABLA. ELEMENTOS DE PROYECCIÓN Y COORDENADAS ESFÉRICAS AZIMUTALES

	(001)	(111)	(011)	(101)	(122)	(211)	(201)	(221)
x'	-46.95	52.35	-46.95	52.35	2.69	151.65	151.65	151.65
y'	0	75.43	75.70	-0.27	75.46	75.14	-0.27	150.95
$tg \varphi$	$-\infty$	0.694021	-0.620211	-1.938888	0.035719	2.018232	-5.616666	1.004637
φ	-90°	$34^\circ 46' 08''$	$-31^\circ 48' 28''$	$90^\circ 17' 45''$	$2^\circ 02' 45''$	$63^\circ 38' 33''$	$90^\circ 06' 07''$	$45^\circ 07' 56''$
$sen \varphi$	.1	0.570267	0.527071	0.999986	0.035695	0.896040	0.999998	0.708736
$tg \rho$	0.4695	0.917990	0.890836	0.533506	0.756128	1.692446	1.516502	2.139722
ρ	$25^\circ 09' 10''$	$42^\circ 33' 40''$	$41^\circ 41' 45''$	$27^\circ 10' 50''$	$37^\circ 05' 38''$	$59^\circ 25' 20''$	$56^\circ 35' 58''$	$64^\circ 57' 04''$

	(121)	(021)
x'	52.35	-46.95
y'	151.12	151.40
$tg \varphi$	0.346413	-0.310105
φ	$19^\circ 06' 24''$	$-17^\circ 13' 46''$
$sen \varphi$	0.327328	0.296194
$tg \rho$	1.599309	1.585108
ρ	$57^\circ 59' 01''$	$57^\circ 45' 16''$

que dividida por su último término para obtener la proyección en un plano gnómico (hkl), y multiplicada por el módulo del gnomograma $r = 100 \text{ mm}$ (o sea, multiplicada por 100.c, para tales condiciones):

$$M^* = \begin{bmatrix} 99.3066 & 0 & -46.9534 \\ -0.2765 & 75.7015 & 0 \end{bmatrix}$$

Al multiplicar esta matriz así obtenida por las correspondientes a las caras (001), (101), (111), etc., que se hayan de representar, se forma la tabla de coordenadas rectangulares de la proyección. Se aprovecha para la determinación de las coordenadas esféricas azimutales.

Coordenadas oblicuas p'_0 q'_0 del polo P(111):

$$p_0 = 0.993037 \quad ; \quad q_0 = 0.754386$$

Los elementos polares resultan de los lineales, multiplicándolos por $\cos \rho_0$. Su conjunto puede verse en la siguiente sinopsis.

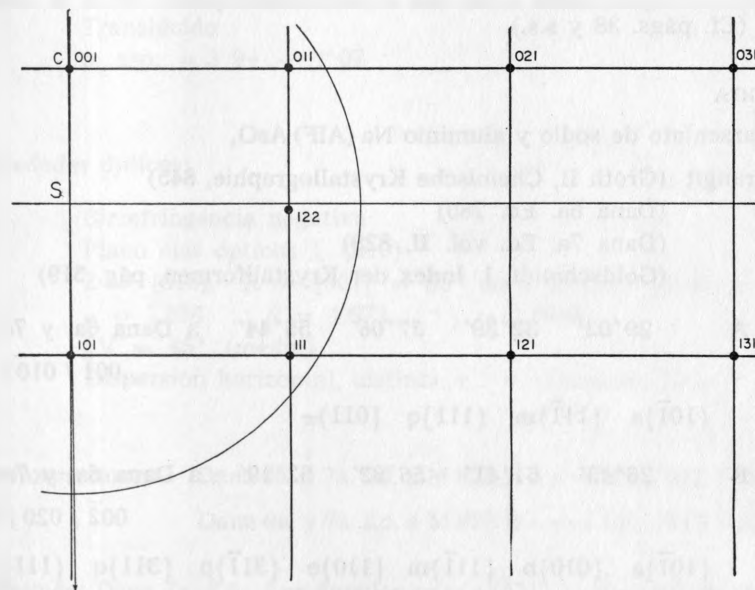


FIGURA 25. Gnomograma de durangita: plano (001).

SINOPSIS DE LOS ELEMENTOS GNOMÓNICOS:

Elementos de proyección:

$$\begin{aligned} p'_0 &= 0.993037 & x'_0 &= -0.4695 & v &= \gamma^* = 90^\circ 30' \\ q'_0 &= 0.754386 & y'_0 &= 0 & h &= 1 \end{aligned}$$

Elementos polares:

$$\begin{aligned} p_0 &= 0.898874 & \lambda &= \alpha^* = 90^\circ 30' & r_0 &= 1 \\ q_0 &= 0.682852 & \mu &= \beta^* = 115^\circ 09' & x_0 &= -0.424980 \\ & & v &= \gamma^* = 90^\circ 00' & y_0 &= 0 \\ & & \delta &= \varphi_0 = 0^\circ & & \\ p_0 : q_0 : r_0 (=1) & & & & & = 0.8988 : 0.6828 : 1 \end{aligned}$$

INDICE DE BARKER	am	bq	cr	ra	ca
	37°06'	55°44'	29°02'	32°39'	61°41'
	56°32'	52°19'	26°43'	61°41'	88°24'

El índice de Barker que se asigna a la durangita (Porter y Spiller, 1956) es doble, correspondiendo a las dos orientaciones que en él se le consideraban: (Cf. págs. 38 y s.s.)

DURANGITA

Fluoro arseniato de sodio y aluminio Na (AlF) AsO₄

Durangit (Groth II, Chemische Krystallographie, 845)

(Dana 6a. Ed. 780)

(Dana 7a. Ed. vol. II, 829)

(Goldschmidt, I. Index der Krystalformen, pág. 519)

M. 823 A 29°02' 32°39' 37°06' 55°44' a Dana 6a. y 7a. Ed.
00 $\bar{1}$ / 010 / 101

$$\{10\bar{1}\}a \quad \{11\bar{1}\}m \quad \{111\}q \quad \{011\}\pi$$

M. 823 B 26°43' 61°41' 56°32' 52°19' a Dana 6a. y 7a. Ed.
00 $\bar{2}$ / 020 / 101

$$\{10\bar{1}\}a \quad \{010\}b \quad \{11\bar{1}\}m \quad \{110\}e \quad \{31\bar{1}\}p \quad \{311\}q \quad \{111\}\pi$$

$$a : b : c = 0.773 : 1 : 0.840 \quad \beta = 115^\circ 46'$$

Simetría: 2/m C_{2h}

$$\begin{aligned} \text{Angulos: } (001 : 100) &= 64^\circ 14' \\ (010 : 110) &= 55^\circ 10' \\ (010 : 111) &= 66^\circ 50' \end{aligned}$$

Formas: a{100} m{110} q{ $\bar{1}12$ } π { $\bar{1}11$ } b{010} e{021} p{111}

Hábito: (823 A) a, m, q, π
(823 B) a, b, m, e, p, q, π
Piramidal o prismático [101], rara vez tabular.
Maclas de interpenetración sobre {001}

Propiedades físicas: Exfoliación {110} distinta

Frágil

Brillo vítreo

Color rojo anaranjado

Translúcido

p. esp. = 3'94 - 4'07

Propiedades ópticas:

Birrefringencia negativa

Plano ejes ópticos \perp (010)

Z = [010], X = [001] = 25° en el ángulo agudo β

$\alpha = 1.634$; $\beta = 1.673$; $\gamma = 1.6855$

2V = 45° (media)

Dispersión horizontal, distinta, r > v (Dana 7a. Ed.)

Transformaciones Dana 6a. y 7a. Ed. a M 823 A \rightarrow 101 / 010 / $\bar{1}00$

Dana 6a. y 7a. Ed. a M 823 B \rightarrow 102 / 010 / $\bar{1}00$

Corrección: Dana 7a. Ed.: Los ángulos para e{021} están equivocados y son los de la forma {011}

INDICE DE DONNAY										M - 0.823
										M - 0.827
DURANGITA $C_{2h} - c$										M - 0.839
Monoclínica										
a/b	c/b	β	a	b	c	p. esp.	Z	estr.	d	
0.823	0.774	115° 37'	7.06	8.57	6.63	...	4	...	...
Durangita NaAlF(AsO ₄), (Machatschki, Z. f. K. 103 (1941) 221 Chemical Abstracts 35,4260 (1941) R Datos originales a = 6.63; b = 8.57; c = 7.30; β = 119° 22' a : b : c = 0.774 : 1 : 0.852 Durangita natural. Véase también 0.827 y 0.839										
0.827	0.772	115° 13'	7.00	8.46	6.53	A2/a	4	...	4.0	
Durangita NaAlFAsO ₄ (Struktur. VI. 10) Kokkoros. B De Durango, Méx. — Isomorf. con tilasita (0.839), titanita (0.854) criofilita (0.856) Ver también 0.823 y 0.839.										
0.839	0.774	115° 46'	7.27	6.66	6.69	...	...	...	4.0; 3.62	
Durangita NaAlF(AsO ₄), (Machatschki, Z. f. K. 103 (1941), 221, B Sintética. También citada con la misma referencia con 6.69 : 8.68 : 7.42 = 0.771 : 1 : 0.855; β = 118° 18' que después de la transformación R resulta, 7.26 : 8.68 : 6.69 = 0.837 : 1 : 0.771; β = 115° 54' Véase también 0.813 y 0.827										

Las matrices de transformación a que se refieren las letras anteriores son:

- 1) De orientación antigua → nueva (De Bibliogr. a las tablas)

$$B = 00\bar{1} / 0\bar{1}0 / \bar{1}00$$

$$R = \bar{1}0\bar{1} / 010 / 100$$

- 2) De orientación nueva → antigua (De tablas a bibliograf.)

$$B = 00\bar{1} / 0\bar{1}0 / \bar{1}00$$

$$R = 001 / 010 / \bar{1}0\bar{1}$$

MACLADO

Penetración sobre (001)

Resulta difícil la observación de maclado alguno en cristales de durangita, que se hallan diseminados entre las arenas de los placeres de estaño. Hasta la publicación de Hintze (1933) no se había observado ninguna clase de macla.

Posteriormente, Dana (1957), cita la existencia de maclas de penetración sobre {001}, haciendo notar que son comunes en los cristales artificiales. Esta afirmación debida quizás a cierta influencia del trabajo de Machatschki sobre la cristalización artificial de la durangita, circunstancia que ha favorecido la formación de esa clase de agregados: en los ejemplares naturales no se ha citado el fenómeno.

Para sus cristales sintéticos describe Machatschki (1941) maclas de penetración muy frecuentes, citando en su trabajo una fotomicrografía debida a Kokkoros, con el plano de macla (10 $\bar{1}$) orient. de Kokkoros.

EXFOLIACION

Clara en (110)

Ofrece exfoliación distinta, esto es, clara, en las dos direcciones correspondientes a dos de las caras del cristal, y aunque Brush (1869) no determina las antedichas caras, forman mutuamente un diedro de 110° 10' (medido por Blake).

Hintze (1933) y Dana (1957) aluden a la afirmación de Des Cloizeaux sobre la existencia de una exfoliación clara según m(110).

FRACTURA

Concoidea, irregular.

La fractura es concoidea para Des Cloizeaux (1875) mientras que la tienen por simplemente irregular varios otros (Hintze, 1933; Dana 1957).

TENACIDAD

Frágil

Todos los autores están unánimes en considerar como frágiles a los cristales de durangita.

DUREZA

d = 5

Tiene la dureza del apatito según Des Cloizeaux (1875) o lo que es equivalente, el término 5 de la escala de Mohs (Brush, 1869; Hintze, 1933; Dana, 1957; ...)

FUSIBILIDAD

f = 2

Fusibilidad 2. Es unánime el parecer de todos los autores sobre este coeficiente.

DENSIDAD

d = 3.921

a) Densidad observada: Los valores publicados para la densidad de la durangita han sido:

Origen	Referencia	d
Brush (1869)	Des Cloizeaux (1875)	3.95 - 4.03
Brush (1869) Hawes (1876)	Hintze (1933)	3.95 4.07
	Dana (1957)	3.94 - 4.07
Actual	—	3.921

Dana (1957) explica el ámbito de densidad que cita, atribuyéndolo a la variación de Fe en la fórmula, que sería la causa de las alteraciones en la tonalidad del mineral.

Los cristales de diferentes tonalidades tienen ligeras variantes en su composición química (por sustituciones isomorfas) y cierta dispersión en su densidad: las diferencias observadas entre coloraciones, densidades y contenido en Fe obedecen a una misma correlación lineal.

Para juzgar sobre los valores dados de pesos específicos se repitieron las mediciones empleando el mayor y más puro cristal de que se dispuso, y mediante la balanza de Jolly. Los resultados permiten asignarle $d = 3.921$, valor que concuerda con el calculado.

b) Densidad calculada: Dana (1957) cita como densidad calculada a base de la fórmula $\text{NaAlF(AsO}_4\text{)}$ la de $d = 3.616$.

La densidad de la durangita artificial, calculada por Machatschki (1941) con base en las mediciones de sus cristales obtenidos sintéticamente, es de 3.62; esto es, un 10% menor que la de la natural, hecho que atribuye a contener ésta mayores cantidades de Fe y de Mn.

TRANSPARENCIA

Translúcida

Translúcida, aun en cristales grandes, con unanimidad por parte de todos los autores al apreciar como tal este carácter.

BRILLO

Vítreo

Sólo Hintze (1933) designa como "muy vítreo" el brillo de los cristales de durangita. En realidad, se puede apreciar en sus caras un brillo céreo; siendo el vítreo más propio de las facturas.

COLOR

Rojo carmín brillante

Las tonalidades diferentes dentro de un mismo color anaranjado fueron reconocidas de modos muy distintos por cada uno de los autores que se han dedicado al estudio de la durangita cristalizada:

a) Color con luz reflejada: amarillo anaranjado claro. Se citan a continuación los autores que son de este parecer, con sus apreciaciones respectivas, para formarse una idea más precisa, sobre las tonalidades posibles de la durangita:

- — cristales rojo anaranjado claros, muy parecidos a los del cromato de Pb de los urales. (Brush, 1869).
- — cristales rojo anaranjados, claros y oscuros, tonalidades que se interpretaron como resultantes de las oscilaciones en los porcentajes de Fe y de Mn en su composición. (Hintze, 1933; Dana, 1957).

b) Color con luz transmitida: resultan tonalidades amarillo-anaranjadas con cierto pleocroísmo (V. pág. 69).

Nuestras muestras tienen un color rojo carmín con visos de anaranjado, y aun ciertos trozos con aspecto ambarino: los cristales son translúcidos y evocan el aspecto de los de cinabrio.

Los cristales sintéticos de durangita (desde luego diminutos) pueden tenerse como transparentes: su color verde esmeralda es atribuido por Machatschki a cierta contaminación con Va y con Cr, sustituyentes de parte del Al, proveniente de las paredes del autoclave.

RAYA Y POLVO

Amarillo crema

La raya y el polvo son amarillentos anaranjado claros (Hintze, 1933), cuales así han sido comúnmente reconocidos. Sin embargo, en la cita de Hintze se califica a la raya de amarillenta; en la de Des Cloizeaux se refiere de preferencia esta tonalidad al polvo del mineral.

PROPIEDADES OPTICAS

Estas propiedades ópticas de la durangita fueron estudiadas satisfactoriamente por Des Cloizeaux (1875) y completadas por Machatschki (1941) al apreciarlas sobre sus cristales artificiales.

Larsen y Berman (1921) determinaron con precisión el índice mayor de refracción. Las verificaciones realizadas para la redacción de este trabajo coinciden con las constantes ya generalmente admitidas para los cristales naturales.

Hintze (1933) cita los trabajos del primer autor, y Dana (1957) añade además la referencia de los dos últimos.

Al tratar del color de los cristales de durangita ya se indicó su tonalidad rojo carmín, casi transparente, contrastando con la generalmente citada en la bibliografía, como siendo amarillo anaranjada con visos rojizos al considerar el ejemplar con luz reflejada y amarillo pálido si se le examina con luz transmitida.

Orientación del elipsoide óptico: Des Cloizeaux determina la siguiente:

Plano de los ejes ópticos perpendicular al de simetría.

La bisectriz aguda negativa forma (empleando luz de Na) los ángulos: $25^{\circ} 07'$ con la cara (100), ángulo $c : a$.

$71^{\circ} 37'$ con la arista $[20\bar{1}]$, formada por las caras (112) y $(1\bar{1}2)$

$79^{\circ} 42'$ con la arista $[10\bar{1}]$, formada por las caras (111) y $(1\bar{1}1)$

Casi perpendicular a (101), en los cristales artificiales de Machatschki, coincidiendo con $[001]$ de la orientación Des Cloiz.

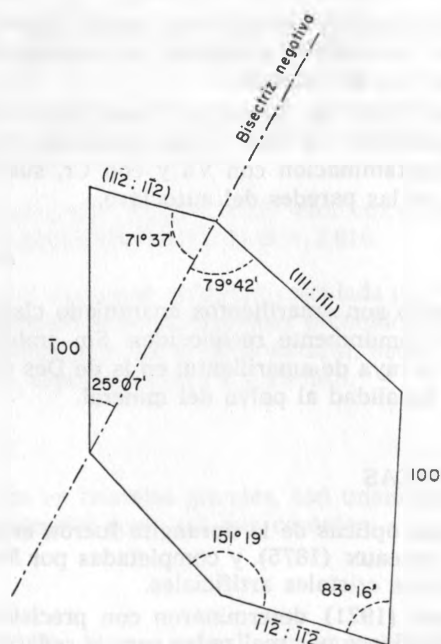


FIGURA 26. Esquema de la orientación óptica de la durangita, según Des Cloizeaux (1875).

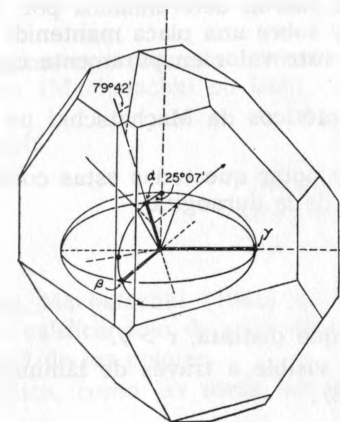


FIGURA 27. Orientación de la indicatriz óptica en un cristal de durangita (natural).

Machatschki en Dana (1957) la coloca con menos precisión, aunque citando sus índices de refracción:

$X^{\wedge}c = 25^{\circ}$	$n_{\alpha} 1.634 \pm 0.003$
Y	$n_{\beta} 1.673 \pm 0.003$
Z b	$n_{\gamma} 1.685 \pm 0.003$ (Larsen, 1921)

Extinción en los cristales sintéticos, de unos $42^{\circ} 30'$

Signo óptico: Cristal biáxico negativo (-)

Tanto la refringencia cuanto la birrefringencia son fuertes.

Los colores de interferencia son los grises de los órdenes más elevados, a pesar de lo diminuto de los cristales artificiales logrados (de unas cuantas centésimas de milímetro).

Estos datos obtenidos de los cristales sintéticos coinciden con respecto a la posición del plano de los ejes ópticos y a la dispersión con los datos aducidos por Des Cloizeaux para los cristales naturales; sin embargo, no así con los datos análogos de Larsen y Berman (1921).

La birrefringencia del cristal sintético es más alta que la medida por estos autores sobre la durangita natural. La diferencia de comportamiento óptico de ambos ejemplares puede atribuirse a sus remplazamientos isomorfos respectivos: contenido de Fe_2O_3 y de Mn_2O_3 de la durangita natural por una parte y contaminación con el Va y el Cr de los cristales artificiales.

Angulo de los ejes ópticos:

$2V$ (medido) = 45° (Citado como de Machatschki, 1941, aunque no es eso así).

$2E = 80^{\circ} 53'$ para la luz roja;

$2E = 80^{\circ} 49'$ para la luz amarilla.

Estos valores de 2E fueron determinados por Des Cloizeaux (1875) con inmersión en aceite y sobre una placa mantenida a 15° C. Su observación en el aire convierte este valor en puramente cualitativo, calificándolo de "muy grande".

Para sus cristales sintéticos da Machatschki un valor aproximado de $2E \approx 50^\circ$.

Es conveniente hacer notar que todas estas constantes ópticas confirman el carácter triclinico de la durangita.

DISPERSION

Dispersión débil, aunque distinta, $r > v$.

Dispersión helicoidal visible a través de láminas muy delgadas (Des Cloizeaux en Hintze, 1933).

COEFICIENTE DE ABSORCION

$$\mu = 22243.3232 \text{ cms}^{-1}$$

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

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

d = 3.921, densidad.

p porcentajes analíticos de sus elementos
Na (Al, 2 Fe) [F, O | AsO₄]

$\frac{\mu}{\rho}$ coeficiente de absorción masiva para la radiación CuK α

	%	$\frac{\mu}{\rho}$	$p \cdot \frac{\mu}{\rho}$
As	34.19	76.50	2 615.53
Al	10.79	48.70	525.47
Na	11.01	30.90	340.21
F	8.00	17.50	140.00
Fe	4.62	324.00	1 496.88
Mn	0.59	284.00	167.56
O	30.49	12.70	387.22
	99.69		5 672.87 = $\sum p \left(\frac{\mu}{\rho} \right)$

$$\mu = 3.921 \cdot 5 672.87 \text{ cms}^{-1}$$

$$\mu = 22 243, 32 327 \text{ cms}^{-1}$$

PLEOCROISMO

Los colores pleocroicos que presenta la durangita en relación con los ejes del elipsoide óptico (Machatschki en Dana, 1957), son:

Ejes indicatriz	Pleocroísmo
X	Anaranjado — amarillo
Y	Amarillo — anaranjado pálido
Z	Casi incoloro

En su nota original, Machatschki (1941) se refiere al pleocroísmo de sus cristales sintéticos, calificándolo de muy débil, y más bien de ligeros cambios en la intensidad de los colores.

Esta propiedad óptica, como las otras, apoya también la triclinidad de la durangita.

COMPORTAMIENTO QUIMICO

El comportamiento químico de la durangita fue estudiado muy en conciencia desde la proclamación de su descubrimiento (Brush, 1869).

Tratada en tubo cerrado ennegrece a temperatura moderada, y torna a su primera tonalidad al enfriarla. A mayores temperaturas funde fácilmente en un vidrio amarillo mientras se desprende un sublimado tenue y blanco. Este sublimado (de ác. arsénico) es volátil y deja corroído al vidrio.

No se percibe rastro de vapor de agua.

En tubo abierto se observan reacciones análogas, añadiendo el que enrojece un papel azul de tornasol colocado a la boca del tubo.

En el carbón funde rápidamente. Fusibilidad 2, con pinzas.

Colorea la llama (Hintze, 1933), con fuerte tonalidad amarilla.

A la llama de reducción de fuerte olor arsenical, deja sobre el carbón el manto tenue de sublimado blanco arsenical de que antes se ha hecho mención. El olor arsenical es más notable con sosa, aunque no se logra obtener arsénico reducido.

Al fundir la durangita en un matraz con un poco de carbonato de Na seco y polvo de carbón, se produce un anillo metálico de arsénico. Con bórax y sal de fósforo da sólo la reacción del hierro; mientras que con sosa resulta verde de manganeso.

Es atacado sólo parcialmente por el HCl y el HNO₃; mas es descompuesto totalmente por el H₂SO₄ con desprendimiento de HF.

Al proceder al análisis de nuestra muestra se constató ser muy lentamente soluble en ácido sulfúrico concentrado y caliente, probablemente debido a la consistencia del complejo fluo-arseniato formado. Es soluble aun en agua regia, en frío.

MINERALES ANALOGOS

Rejalgar

El conjunto de caracteres morfológicos de la durangita la hacen inconfundible con cualquier otra especie mineral.

Hay varios minerales rojos con raya amarilla; mas sus diferencias de brillo no permiten identificarla con ellos (es más escarlata que el cinabrio, que la proustita...), así como su diferente dureza (entre la de los dos citados), su hábito, su densidad, etc.

Mayor es su semejanza con el rejalgar: como él es monoclinico, color rojo anaranjado y de raya amarilla, brillo resinoso a craso y entre translúcido y transparente, aunque la densidad de la durangita es mayor y de mucha más dureza (2 y 5 como coeficientes comparativos).

ANALISIS ESPECTROFOTOMETRICO POR FLUORESCENCIA As, Fe

Este análisis se efectuó con anticátodo de W, 40 kV, 20 mA, y constantes del aparato 128-8-1.

En el registro logrado, que se representa en la figura 28 se demuestra en los cristales de durangita irradiados la presencia de los cationes: As, Fe, Zn, Cu, Sn.

El As y el Fe se patentizan cualitativamente como más abundantes; en cantidades muy inferiores los otros tres, lo cual confirma el análisis químico que tiene a estos tres cationes como elementos residuales, sin llegar a precisarlos. Por lo contrario, este espectro por fluorescencia deja de informar sobre la presencia del Al, del F y del Na, dado su escaso número atómico.

ANALISIS QUIMICO

El primer análisis químico de la durangita fue ejecutado con las suficientes garantías de seriedad, y fue descrito por Brush (1869) con los pormenores más interesantes:

Un examen cualitativo de la muestra indicó la presencia de ácido arsénico, de alúmina, de hierro, manganeso, sodio, litio y flúor. Carece de cualesquiera otros ácidos metálicos así como de tierras raras y de otros metales. En particular, carece de los ácidos fosfórico y clorhídrico.

Análisis	I	Oxígeno	II	III
Acido arsénico	55.10	19.16	53.22	—
Alúmina	20.68	9.63	20.09	—
Oxido férrico	4.78	1.44	5.06	—
Oxido manganeso	1.30	0.30	1.28	—
Sodio	11.66	3.01	—	11.86
Litio	0.81	0.43	—	0.70
Flúor		indeterminado		

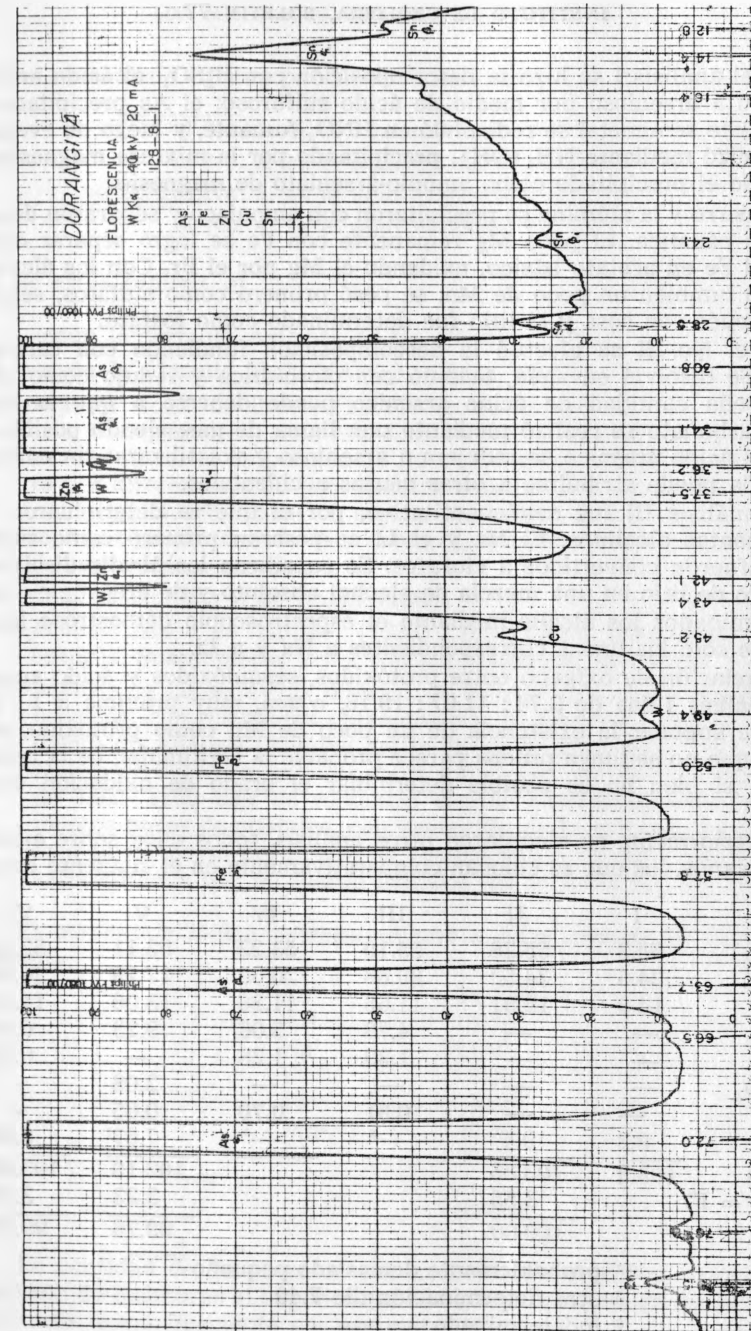


FIGURA 28. Curva espectrofotométrica por fluorescencia.

En el análisis I se hizo la descomposición con H_2SO_4 ; el ácido arsénico se redujo a arsenioso por medio de ácido sulfuroso; el As precipitado por el H_2S . Este semimetal se redisolvió en HNO_3 fumante, y luego de evaporar, se alcalinizó mediante $NH_4(OH)$, precipitando por la mixtura magnésiana y estimando el precipitado como amonio-arseniato de magnesio.

El hierro y la alúmina se precipitaron con amoníaco y separaron después con sosa cáustica. El poco Mg remanente con Fe se logró separar convirtiendo al Fe en acetato básico, oxidando el Mg por el Br. Con los álcalis se encontró también un poco de Mn; se pesó primero como sulfatos, separándolo después con sosa y el litio fue determinado como fosfato.

En el No. II se efectuó la descomposición fundiendo con carbonato de Na. Se disolvió en agua, aciduló con clorhídrico y redujo como antes. La pequeña cantidad de ácido arsénico puede deberse a que la fusión con el carbonato se realizó mediante una llama de gas, siendo posible que parte del ácido arsénico se redujera a arsenioso y volatilizara; sin embargo, la pérdida puede atribuirse a otras causas accidentales.

El análisis III fue semicuantitativo, por el que se determinaron sólo los elementos alcalinos. El Na y el Li se pesaron primero como sulfatos y luego fueron convertidos a cloruros. Se separaron los álcalis disolviendo el cloruro de litio en una mezcla de alcohol absoluto y de éter.

Examinados los álcalis mediante el espectroscopio demostróse la presencia de sólo las líneas correspondientes a Na y a Li.

La relación de oxígeno entre protóxidos, sesquióxidos y ácido arsénico en el análisis I fue de 3.74 : 11.07 : 19.16, o sea, muy próxima a 1 : 3 : 5. Ello hace suponer la existencia de un poco de Mn como protóxido, de lo cual aunque no se tenga prueba parece probable la legitimidad de la relación anterior, si bien no es posible determinar el grado de oxidación del Fe y del Mn.

Posteriormente se efectuaron otros análisis, todos ellos sobre ejemplares mexicanos, los que se colocan comparativamente en el siguiente cuadro:

	I	II	III	IV	V	VI
As_2O_5	55.3	55.28	55.10	53.22 ¹	53.11	52.45
Al_2O_3	24.5	24.52	20.68	20.09	17.19	20.40
Na_2O	14.9	14.91	11.66	11.86	13.06	14.84
Fe_2O_3	—	—	4.78	5.06	9.23	6.60
MnO	—	—	1.30	1.28	—	0.76
Mn_2O_3	—	—	—	—	2.08	—
Li_2O	—	—	0.81	0.70	0.65	—
F	9.2	9.4	— ³	— ³	7.67 ²	8.00
Suma	103.9	103.85	—	—	102.19	103.05
(O = F)		3.85			3.23	3.36
		100.00			99.76	99.69%

¹ probablemente demasiado pequeño

² otra determinación dio 7.49

³ indeterminado

—Los análisis citados por Dana (1957) son:

- el No. 1, es el aquí expuesto como II
- el No. 2, es el aquí expuesto como III
- el No. 3, es el aquí expuesto como IV
- el No. 4, es el aquí expuesto como V

De estos análisis, el

- I—según la fórmula $AsO_4[Al, F] Na$ (Hintze, 1933)
- II—según la fórmula $NaAlF(AsO_4)$ (Dana, 1957)
- III—análisis No. 1 de Brush (1869). En el trabajo de Des Cloizeaux se cita, incorporándolo a él, este análisis No. 1 de Brush, con la novedad de especificar la proporción de flúor en 5.67%, obtenida probablemente por diferencia a 100, ya que los resultados casan perfectamente y no hace el autor indicación alguna pertinente. Esta cantidad no parece legítima puesto que de este modo corre peligro de contar al conjunto de impurezas como F.
- IV—análisis No. 2 y 3 de Brush (1869)
- V—análisis No. 3 de Hintze (1933), practicado sobre cristales rojos oscuros. Sus números 1 y 2 son los resultados de Brush.
- VI—análisis de las muestras directas de la localidad típica estudiadas por nosotros, con resultados obtenidos por A. Obregón, Jefe del Departamento de Análisis Químico del Instituto de Geología. Los ensayos se realizaron sobre fragmentos de cristales rojo carmín con una densidad de 3.921 (100 mgr de sustancia elegida cuidadosamente entre fragmentos puros de cristales, con excepción de la materia empleada para la determinación del F, que se realizó sobre 25 mgr). Se hace notar expresamente que no fueron hallados los cationes Sn, Zn, Cu ni K.

El porcentaje iónico correspondiente a este análisis VI citado, es el siguiente:

As^5	34.19%
Al^3	10.79
Na^1	11.01
F^1	8.00
Fe^3	4.62
Mn^2	0.59
O^2	30.49
	99.69%

La cantidad de Fe obtenida por nosotros no confirma exactamente la previsión de Kokkoros al suponer que $\frac{1}{2}$ de la proporción de Al debe hallarse sustituida isomórficamente por ese metal.

En estos análisis hay que aclarar,

III y IV—se realizaron según Brush, sobre cristales rojo claros, de Durango.

V—Se efectuó el análisis sobre cristales más oscuros que los anteriores, también de Durango. De acuerdo con Hawes (1876), su densidad era de 4.07.

FORMULA QUIMICA



Des Cloizeaux (1875) afirma la analogía química de la durangita con el fluo-arseniato de sodio (ambligonita, triclínica) haciéndose eco del parecer de Brush (1869). Según este autor, puede tenerse a la durangita, desde un punto de vista puramente químico, como una ambligonita del ácido arsénico con pequeñas proporciones de Fe y de Mn, y con más Na que Li. La fórmula podría escribirse $(\frac{1}{4} \text{R}_3 + \frac{3}{4} \text{R}''') \text{As}''''$ con una parte de O reemplazada por F.

La fórmula de la durangita sería $\text{AsO}_4[\text{AlF}]\text{Na}$ para Hintze (1933) teniendo en cuenta que algo de Al está sustituido por Fe y un poco de Na por Li.

Dana (1957) le atribuye la fórmula $\text{NaAlF}(\text{AsO}_4)$, observando que algo de Li se halla sustituido por Na y parte del Fe'' reemplaza isomórficamente al Al en proporción de $\text{Fe} : \text{Al} = 1 : 2.91$ según el análisis IV que aduce.

Kokkoros (1938) admite la $\text{NaAlF}[\text{AsO}_4]$ a base de los análisis y citas de Hintze (1933); mas al entrar en el cálculo de Z hace notar cómo $\frac{1}{2}$ del Al se halla sustituido isomórficamente por Fe: en consecuencia, debería ser más exacto haberla escrito $\text{Na}(\text{Al}, \text{Fe})\text{F}[\text{AsO}_4]$.

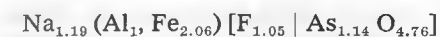
Según nuestros análisis se confirma la sustitución isomorfa de parte del Al por el Fe en la constitución de la durangita, si bien no en la proporción de 1:5 que afirma Kokkoros (1938). Esta sustitución la creemos constante en todos los cristales, y característica de su composición molecular, que no explicaría el postulado cambio de tonalidad, concomitante con la variación de densidad, que no parecen realidad. La coloración se debe al ión As, sin trazas de los tonos propios de las sales férricas.

El Mn encontrado puede tenerse como esporádico y colaborando accidentalmente con el Fe en su reemplazamiento isomorfo, debido a sus proporciones halladas tan exiguas. No se ha confirmado en nuestros cristales la existencia de Li supuesta por Hintze.

El cálculo de la fórmula a base del análisis VI efectuado, resulta como sigue:

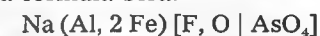
	% = a	P. atom. = b	c = $\frac{a}{b}$	n = $\frac{c}{0.4000}$
As	34.19	74.91	0.4564	1.1410
Al	10.79	26.97	0.4000	1.0000
Na	11.01	22.997	0.4787	1.1967
F	8.00	19.00	0.4210	1.0525
Fe	4.62	55.85	0.8272	2.0680
Mn	0.59	54.93	0.0107	0.0267
O	30.49	16.00	1.9056	4.7640
	99.69			

de donde resulta,



todas las cantidades decimales son congruentes, con excepción de la proporción de O: como el grupo AsO_4 forma una unidad cerrada, el exceso de O podría admitirse según el parecer de Brush, como en sustitución asimismo isomorfa con el F o bien oxidando parcialmente al Na y al Fe por procesos de intemperismo.

Así, en definitiva, la fórmula será:



con un peso molecular de $\text{Pm} = 335.57$.

Como síntesis de las fórmulas atribuidas a la durangita, se coloca en el cuadro siguiente la lista de las aducidas, y en su segunda columna las que realmente deberían citarse para obedecer a las observaciones de los respectivos autores.

TABLA. SINOPSIS DE LAS FÓRMULAS CITADAS

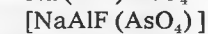
Autores	Fórmulas	
	propuestas	definitivas
Brush (1869)	$(\frac{1}{4} \text{R}_3 + \frac{3}{4} \text{R}''') \text{As}$	$3 \text{Na}, 3 (\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mn}) [\text{As}(\text{O}, \text{F})_4]$
Hintze (1933)	$\text{AsO}[\text{AlF}]\text{Na}$	$\text{AsO}[(\text{Al}, \text{Fe})\text{F}]\text{Na}, \text{Li}$
Kokkoros (1937, 1938)	$\text{NaAlF}(\text{AsO}_4)$	$\text{Na}(\text{Al}, \text{Fe})\text{F}[\text{AsO}_4]$
Actual		$\text{Na}(\text{Al}, 2 \text{Fe}) [\text{F}, \text{O} | \text{AsO}_4]$

Generalizaciones:

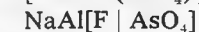
Porter y Spiller (1956)



Dana (1957)



Strunz (1949)



Por consiguiente, aunque se admite generalmente la durangita como un fluo-arseniato de Na y Al, cual lo expresa la fórmula de Strunz (1949) más acertadamente, se aceptan algunas sustituciones isomorfas,

del F	al O	(Brush, Fabregat)
del Mn	al Al	(Brush)
del Li	al Na	(Hintze, Dana)
del Fe	al Al	(Hintze, Kokkoros, Dana, Fabregat)

DIAGRAMAS ROENTGENOGRAFICOS

En su propósito de identificar los cristales sintéticos de durangita, Machatschki (1941) comparó unos diagramas de cristal giratorio logrados de ambos tipos de ejemplares —naturales y artificiales— obtenidos orientando los cristales con el eje de giro según el eje de elongación del prisma ($[10\bar{1}]$ de la colocación de Kokkoros). Luego pudo lograr diagramas semejantes según otras direcciones, y uno girando por el eje z (de Des Cloizeaux). En los primeros llegó a percibir algunas diferencias; mas no así en todos los demás.

TABLA I. DIAGRAMA DE CRISTAL GIRATORIO $[10\bar{1}]$ (DE DES CLOIZEAUX)
(Estrato ecuatorial. Giro por el eje z de Kokkoros)

I/I ₀	2 θ corr.	sen. ² θ obs.	sen. ² θ calc.	
f	18.5	0.0261	0.0258	} Durangita natural
m	30.9	0.0710	0.0710	
d	37.5	0.1033	0.1032	
d	48.3	0.1674	0.1678	
f	53.1	0.1998	0.2000	
ff	64.4	0.2840	0.2840	
f	100.0	0.5868	0.5868	

I/I ₀	2 θ corr.	sen. ² θ obs.	sen. ² θ calc.	Indic.	
f	18.4	0.0255	0.0249	110	} Durangita artificial
m	30.3	0.0683	0.0682	200	
f	37.0	0.1007	0.0996	220	
d	47.2	0.1603	0.1603	310	
ff	52.3	0.1942	0.1938	240	
ff	63.0	0.2730	0.2728	400	
f	98.1	0.5705	0.5706	280	

TABLA II. DIAGRAMA DE CRISTAL GIRATORIO $[001]$ (DE DES CLOIZEAUX)
(Estrato ecuatorial. Giro por el eje z de Des Cloizeaux)

I/I ₀	2 θ obs.	sen. ² θ obs.	sen. ² θ calc.	Indices
f	29.6	0.0653	0.0652	200
f	34.5	0.0879	0.0873	130
f	55.6	0.2175	0.2169	330
d	61.5	0.2614	0.2609	400
dd	72.5	0.3497	0.3496	260
d	87.5	0.4764	0.4764	530

De estos diagramas calculó Machatschki las traslaciones de la celda elemental, que se citan en el párrafo correspondiente.

Con el fin de establecer las dimensiones de la celda elemental, obtuvimos diagramas de cristal giratorio por $[001]$ y por $[100]$, $\text{CuK}\alpha$, filtro Ni, 40 kV, 15 mA, 2 horas, midiendo únicamente las separaciones de niveles; mas sin intentar su interpretación, toda vez que se prefirió deducir de otros de Weissenberg (ecuatoriales y de nivel) girando sucesivamente el cristal por esas mismas direcciones cristalográficas.

Los resultados de las mediciones practicadas se exponen en el artículo sobre la celda elemental; la interpretación de estos últimos diagramas se estudia en un apartado dedicado especialmente a ellos.

Para confirmar las observaciones se tomaron asimismo otros diagramas de polvo y unos de precesión, que permitieron medir directamente la celda recíproca ($d^* = 0$, $r_s = 15^\circ$, $s = 32$ mm, $\bar{\mu} = 25^\circ$, $F = 60.00$ mm).

DIAGRAMAS DE PRECESION

Por el método de precesión se obtuvieron dos diagramas directos de la red recíproca, uno sobre el plano $a^* - c^*$ y otro sobre el $a^* - b^*$.

Las características de las radiografías fueron:

radiación $\text{CuK}\alpha$, filtrada por Ni.
45 kV, 20 mA
6 y 12 h
el eje de giro $[100]$
 $d^* = 0$

$r_s = 15$
 $S = 32^\circ$
—
 $\bar{\mu} = 25^\circ$
 $F = 60.00$ mm.

**En realidad, se obtuvieron varios diagramas, empleando primero pequeños cristales que se seleccionaron de la arena que acompaña la muestra principal: cristal grande y bastante perfecto; mas la dificultad de orientación de esos fragmentos y el maclado indefinido de algunos, dieron resultados no completamente satisfactorios.

En tales circunstancias, se montó en el aparato el cristal tipo de durangita, logrando una orientación lo suficientemente perfecta, primero por medio del goniómetro óptico, que sirvió asimismo para su medición, y luego en el röntgenoniómetro por medio de autocolimación, y procurando radiar en el vértice de las caras piramidales.

Los diagramas sugieren el intercambio entre los ejes a , b y c en la orientación del cristal, con respecto a cómo se desprende naturalmente por consideraciones morfológicas, y para conformarse a la convención ya generalmente admitida de $c < a < b$, así como a la de tener al ángulo de $115^{\circ}09'$ como β^* . Por lo tanto, según se indica en el artículo sobre cristalometría, admitimos como orientación más apropiada la que se indica en la figura.

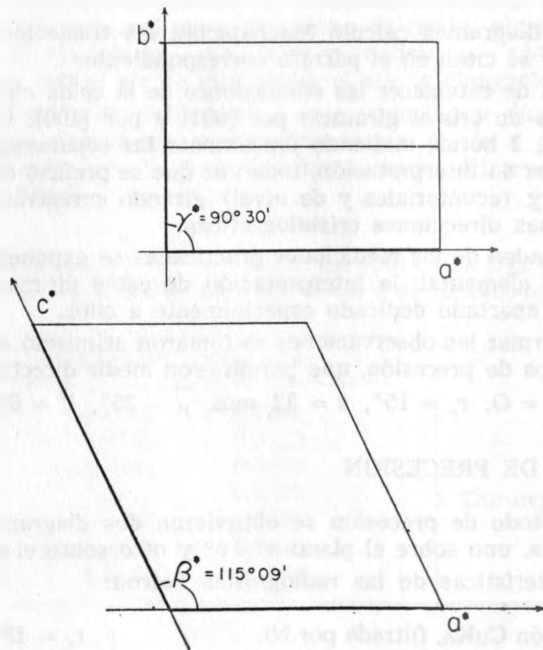


FIGURA 29. Planos reticulares recíprocos ($a^* - b^*$) y ($a^* - c^*$) obtenidos directamente como diagramas de precesión.

Las dimensiones resultantes, medias de repetidas observaciones realizadas con precaución y ligera dispersión de resultados, fueron (para la radiación $\text{CuK}\alpha = 1.54178 \text{ \AA}$):

$$c_{\lambda}^* = 0.529633 ; a_{\lambda}^* = 0.476100 ; b_{\lambda}^* = 0.362916$$

con los ángulos interaxiales,

$$\alpha^* = 90^{\circ}00' ; \beta^* = 115^{\circ}09' ; \gamma^* = 90^{\circ}30'$$

Con respecto a estas medidas se ha de hacer observar:

10. que en el diagrama reticular recíproco del plano $a^* - b^*$, si bien la traslación b^* se puede medir sin lugar a equívoco, no así la traslación a^* , que aparentemente es mitad de la indicada: se trata de una celda doble de la primitiva, cual se desprende del diagrama del plano $a^* - c^*$ en el que la dimensión a^* se aprecia sin lugar a duda.
20. referente a la apreciación del ángulo α^* , se mide ser exactamente de $90^{\circ}00'$ pues habiendo girado en esa cantidad precisa la cabeza del goniómetro, ambos diagramas logrados aparecen perfectamente centrados con las coordenadas de la película, sin dejar resquicio a equívoco.
30. no se puede admitir la durangita como perfectamente monoclinica, cual lo podrían sugerir las mediciones morfológicas, dado el ángulo γ^* apreciado como de $90^{\circ}30'$. Se repitió su medición varias veces dada su rara proximidad de los 90° , demostrando no ser posible tenerlo como de un recto cerrado.
40. las dimensiones que atribuimos a la durangita están tomadas directamente sobre uno de sus ejemplares (el de tipo, descrito en esta memoria). Las disparidades encontradas al compararlas con las de otros fragmentos y con las deducidas directamente de los fragmentos que lo acompañan (V. pág. 90 en el artículo sobre forma cuadrática) hacen pensar que el acervo de trocitos es algo diferente en su constitución: el cristal entero, con más proporción de Fe presenta mayores traslaciones elementales.

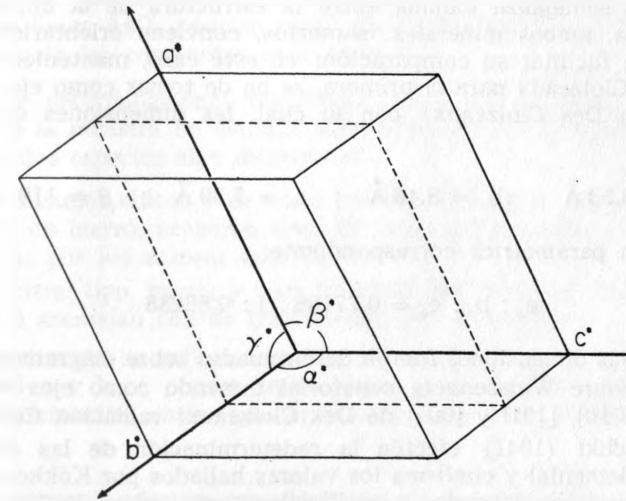


FIGURA 30. Celda elemental recíproca de la durangita.

En consecuencia, en unidades absolutas, las dimensiones recíprocas de la celda de durangita, que demuestra ser triclínica pseudomonoclinica, se fijan provisionalmente en

$$\begin{aligned} a^* &= 0.308799 & ; & & b^* &= 0.235388 & ; & & c^* &= 0.343520 \\ \alpha^* &= 90^\circ 00' & ; & & \beta^* &= 115^\circ 09' & ; & & \gamma^* &= 90^\circ 30' \end{aligned}$$

CELDA ELEMENTAL

Las dimensiones de la celda elemental con la orientación de Des Cloizeaux, establecidas por Kokkoros (1938) con una dispersión de ± 0.01 , se calculan ser

$$a_0 = 6.53 \text{ \AA} \quad ; \quad b_0 = 8.46 \text{ \AA} \quad ; \quad c_0 = 7.00 \text{ \AA} \quad ; \quad \beta = 115^\circ 13'$$

resultando así una relación paramétrica semejante a la estructural:

$$\begin{aligned} a : b : c &= 0.77158 : 1 : 0.82449 & \text{(Des Cloizeaux)} \\ a_0 : b_0 : c_0 &= 0.7716 : 1 : 0.8273 & \text{(Kokkoros)} \end{aligned}$$

aunque errónea esta cita última, ya que repitiendo los cocientes resulta

$$a_0 : b_0 : c_0 = 0.77186 : 1 : 0.82742$$

Dada la semejanza hallada entre la estructura de la durangita y la de la titanita, ambos minerales isomorfos, conviene orientarlos de modo análogo para facilitar su comparación: en este caso, manteniendo los ejes a, b de Des Cloizeaux para la primera, se ha de tomar como eje c la arista [101] (según Des Cloizeaux) con lo cual, las dimensiones de la nueva celda serán:

$$a_0 = 6.53 \text{ \AA} \quad ; \quad b_0 = 8.46 \text{ \AA} \quad ; \quad c_0 = 7.30 \text{ \AA} \quad ; \quad \beta = 119^\circ 22'$$

y la relación paramétrica correspondiente:

$$a_0 : b_0 : c_0 = 0.77186 : 1 : 0.86288$$

Todas esas dimensiones fueron determinadas sobre diagramas de cristal giratorio y sobre Weissenberg ecuatorial tomando como ejes de giro las direcciones [010], [101] y [001] de Des Cloizeaux: radiación $\text{CuK}\alpha$.

Machatschki (1941) efectúa la redeterminación de las dimensiones de la celda elemental y confirma los valores hallados por Kokkoros (1938), empleando cristales naturales y artificiales (resultados citados por Dana, 1957),

—en cristales naturales halla:

$$\begin{aligned} a_0 &= 6.53 \text{ kX} \quad ; \quad b_0 = 8.46 \text{ kX} \quad ; \quad c_0 = 7.00 \text{ kX} \quad ; \quad \beta = 115^\circ 00' \\ \text{Es de notar que las dimensiones están expresadas en kX y no en} \\ \text{A, además de que el ángulo } \beta &\text{ se da en Kokkoros, Naturwissenschaften} \\ \text{(1937) como de } 115^\circ &\text{ como Machatschki.} \end{aligned}$$

—en cristales artificiales determina:

$$\begin{aligned} a_0 &= 6.69 \text{ kX} \quad ; \quad b_0 = 8.66 \text{ kX} \quad ; \quad c_0 = 7.27 \text{ kX} \quad ; \quad \beta = 115^\circ 46' \\ a_0 : b_0 : c_0 &= 0.77251 : 1 : 0.83949 \end{aligned}$$

Con respecto a este valor de $\beta = 115^\circ$ y algo, conviene subrayar cierto error de asignación cometido, que se ha propagado luego tradicionalmente: en cristalografía se designa β el ángulo suplementario al interaxial, debiendo escribirse por lo tanto $\beta = 180^\circ - 115^\circ \dots = 64^\circ \dots$. Esta imprecisión se descubre fácilmente al efectuar los cálculos con base en las dimensiones recíprocas.

Las constantes reticulares de la durangita artificial son notablemente mayores que las halladas por Kokkoros para la durangita natural. El volumen de la celda elemental en la durangita artificial $V = 379 \text{ \AA}^3$ se aproxima más a la de sus isomorfos titanita ($V = 368 \text{ \AA}^3$) y tilasita ($V = 386 \text{ \AA}^3$).

El nuevo cálculo de las constantes reticulares efectuado por Machatschki (1941) dio $V = 361 \text{ \AA}^3$, cuando para Kokkoros era de $V = 353$. No hay una explicación real de este comportamiento: se podría pensar que una parte de los iones AsO_4 podrían estar sustituidos por otros PO_4 , bajando en consecuencia las constantes reticulares.

Nuestras determinaciones efectuadas sobre los diversos cristales de durangita de la muestra en estudio acusaron cierta disparidad, que obligó a distinguir dos especies algo diferentes:

- los cristales chicos y de color melado más claro, con menor contenido en hierro, acusaron unas dimensiones análogas a las determinadas por los autores anteriores.
- el cristal tipo, mayor y bien formado, así como los fragmentos que se le asemejan son de traslaciones algo menores.

Esta distinción se refleja también en el cálculo de la forma cuadrática respectiva y hace pensar en la observación de Machatschki (1941) al hallar diferencias entre sus apreciaciones y las establecidas hasta entonces.

A. DETERMINACIÓN DE LOS CRISTALES DE LA GANGA: la mayoría fragmentos; algunos con el hábito bipiramidal descrito y otros más raros,

con aspecto prismático. Aunque se procedió también a la medición goniométrica de éstos, no se alude antes a los resultados para no sembrar confusiones con el estudio del cristal tipo de durangita que se conserva en la colección de la Escuela de Minería, y que nos fue facilitado para su estudio. Si tratamos aquí y en el estudio del diagrama de polvo sobre tales cristales, es para deslindar equívocos.

Con el fin de redeterminar sus traslaciones, realizada con fines críticos, se tomaron varios diagramas de estos ejemplares:

a) Unos de cristal giratorio, doble oscilación 90° en derredor del alargamiento de un pequeño cristal prismático, cuyas dimensiones coincidieron sensiblemente con las requeridas para una barrita subcilíndrica tallada, que ofreciera la absorción óptima para ser irradiada ($\text{CuK}\alpha$, filtro Ni, 40 kV, 18 mA, Cámara 57.296 de radio efectivo).

Se midieron en ellos los diferentes niveles, y se calculó con una media de 21 lecturas y resultados poco dispersos, el valor de $c_0 = 7.4229 \text{ \AA}$.

b) Haciendo girar el prisma anterior por uno de sus ejes perpendiculares al que antes había servido de giro (giro por [100]), se calculó como media de 28 lecturas la dimensión $a_0 = 14.0818 \text{ \AA}$. No se observaron en el diagrama niveles intermedios que hicieran dudar de esa dimensión morfológica; mas la comparación con las traslaciones ya clásicamente admitidas y el cálculo de la celda reducida, demuestran deberse admitir estructuralmente una longitud mitad: $a_0 = 7.0409$.

c) Sobre los diagramas de Weissenberg ecuatoriales normales y de equi-inclinación, que serán estudiados más adelante, se realizaron numerosas mediciones. Se determinaron en ellos:

$$a^* = 0.1574 \quad b^* = 0.1149 \quad c^* = 0.1493$$

con el ángulo $\beta^* = 64^\circ 28' 00''$.

El cálculo de los elementos directos con base en estos datos confirmó las mediciones anteriores:

$$a = \frac{1}{a^* \sin \beta} = \frac{1}{0.142027} = 7.0409 \text{ \AA}$$

$$b = \frac{1}{b^*} = 8.7032 \text{ \AA}$$

$$c = \frac{1}{c^* \sin \beta} = \frac{1}{0.134718} = 7.4229 \text{ \AA}$$

d) Las disparidades y aparentes dificultades halladas entre nuestras mediciones goniométricas, así como entre las determinaciones de las traslaciones elementales y los datos publicados por los diferentes autores, se

aclaran sobremanera mediante los diagramas ecuatoriales de precesión que hallamos.

Se centró una barrita prismática con su dirección de alargamiento como eje de giro (resultó ser el eje c) y los que luego se determinaron como ejes a y b (obedeciendo a la convención de $c < a < b$) en direcciones sucesivas del haz primario de rayos x. Sin embargo, no se puede mantener esa convención y se hace preciso intercambiar los ejes a y b, tanto para obviar la comparación con las mediciones clásicas, cuanto por razones de simetría.

Se empleó la radiación de $\text{CuK}\alpha = 1.54187$ (filtro Ni), 45 kV, 20 mA, y 12 horas de exposición, con las siguientes constantes del instrumento para ambos diagramas:

$$d^* = 0 \quad r_s = 15^\circ \quad S = 26.5 \quad \bar{\mu} = 30^\circ \\ F = 60.00 \text{ mm}$$

logrando röntgenogramas de nivel 0.

Al repetirlos con diversas condiciones, no por ello se obtuvieron rastros de niveles intermedios.

Las mediciones efectuadas dieron los siguientes resultados: (medias de una docena de lecturas para cada uno):

$$a^* = 0.3149 \quad b^* = 0.3436 \quad c^* = 0.5984$$

dimensiones aparentemente diferentes a las calculadas antes; mas en realidad sólo aparentemente, ya que puede admitirse una celda fotografiada submúltiplo menor. En efecto, por los diagramas de cristal giratorio dijimos ya que

$$a^* = 0.1574 \quad b^* = 0.1149 \quad c^* = 0.1493$$

o sean,

$$2a^* = 0.3148 \quad 3b^* = 0.3447 \quad 4c^* = 0.5972$$

cuya unanimidad con nuestras traslaciones elementales es patente.

e) A partir de los diagramas de polvo (Debye y espectrofotométrico) se obtienen análogas dimensiones; con ellos se desarrolla la forma cuadrática, hallando coincidencias satisfactorias.

Ante todos esos hechos nos decidimos por la preferencia de las citadas dimensiones reticulares, que reunidas aquí sinópticamente son:

$$a_0 = 7.0409 \text{ \AA} \quad b_0 = 8.7032 \text{ \AA} \quad c_0 = 7.4229 \text{ \AA} \\ \beta = 115^\circ 32' 00''$$

$$a : b : c = 0.8090 : 1 : 0.8528 \\ V = 410.4359 \text{ \AA}^3$$

$$a^* = 0.1574 \quad b^* = 0.1149 \quad c^* = 0.1493$$

$$\beta^* = 64^\circ 28' 00''$$

$$a^* : b^* : c^* = 1.3698 : 1 : 1.2993$$

$$V = 0.0024364$$

Al comparar esta celda admitida con las ya medidas por otros autores, se nota una aproximación con las longitudes fijadas por Machachtski sobre sus cristales artificiales (con la orientación de Kokkoros) aunque la inclinación del segundo eje es sensiblemente igual a la admitida por ambos autores para sus ejemplares medidos, con la orientación de Des Cloizeaux.

Téngase aquí presente la salvedad establecida con respecto a este ángulo β , en la pág. 49.

El volumen de la celda elemental que aquí resulta es ciertamente mayor que el generalmente admitido: no es ello de extrañar, ya que la composición química por las sustituciones isomorfas es algo diferente de la divulgada.

Repetimos, al tratar de la forma cuadrática de la durangita se desarrolla una comparación crítica analítica de todas estas determinaciones.

B. DETERMINACIONES EN EL CRISTAL TIPO DE DURANGITA y fragmentos análogos: todos con el hábito bipiramidal descrito y estudiado antes, con color rojo carmín. A estas formas se refieren las mediciones goniométricas efectuadas y los cálculos cristalométricos que se han desarrollado.

Se procedió a determinaciones paralelas a las descritas al referirnos a los cristales de colores más claros, mas aquí omitimos el particularizarlas para pasar directamente a los cálculos derivados del diagrama de precesión, cuya celda recíproca se obtuvo directamente. Continuamos con lo estudiado hasta la pág. 80, del artículo anterior.

A partir de las dimensiones observadas para la celda recíproca,

$$a^* = 0.308799 \quad ; \quad b^* = 0.235388 \quad ; \quad c^* = 0.343520$$

$$\alpha^* = 90^\circ \quad \beta^* = 115^\circ 09' \quad \gamma^* = 90^\circ 30'$$

$$a^* : b^* : c^* = 1.311872 : 1 : 1.459377$$

$$V^* = a^* b^* c^* / [1 - (\cos^2 \alpha^* + \cos^2 \beta^* + \cos^2 \gamma^*) + 2 \cos \alpha^* \cos \beta^* \cos \gamma^*]$$

$$= 0.022601$$

$$V = \frac{1}{V^*} = 44.24582$$

$$a = \frac{b^* c^* \sin \alpha^*}{V^*} = 3.577717 \text{ A}$$

$$b = \frac{a^* c^* \sin \beta^*}{V^*} = 4.24874 \text{ A}$$

$$c = \frac{a^* b^* \sin \gamma^*}{V^*} = 3.215963 \text{ A}$$

$$\cos \alpha = \frac{\cos \beta^* \cos \gamma^* - \cos \alpha^*}{\sin \beta^* \sin \gamma^*} = 0.0040963 \quad ; \quad \alpha = 89^\circ 45' 55''$$

$$\cos \beta = \frac{\cos \alpha^* \cos \gamma^* - \cos \beta^*}{\sin \alpha^* \sin \gamma^*} = 0.425005 \quad ; \quad \beta = 64^\circ 50' 46''$$

$$\cos \gamma = \frac{\cos \alpha^* \cos \beta^* - \cos \gamma^*}{\sin \alpha^* \sin \beta^*} = 0.009640 \quad ; \quad \gamma = 89^\circ 26' 51''$$

$$a : b : c = 0.842065 : 1 : 0.756921$$

Estas dimensiones, aunque correctas, pertenecen a una celda reducida que en comparación con la calculada por los otros autores correspondería a un octante: se hace preciso admitir unas translaciones dobles en sus tres direcciones, con lo cual el volumen molecular pasa a ser del mismo orden y concordante con el complejo molecular, que sólo de este modo le ofrece un contenido conveniente y permite la coincidencia entre las densidades observada y calculada.

Así, quedarán como dimensiones directas para el cristal de durangita tipo,

$$a_0 = 7.155434 \text{ A} \quad ; \quad b_0 = 8.49748 \text{ A} \quad ; \quad c_0 = 6.431526 \text{ A}$$

con los mismos ángulos y el volumen molecular 8 veces mayor:

$$V = 353.966560 \text{ A}^3$$

las que en unidades kX resultan:

$$a_0 = 7.141009 \text{ kX} \quad ; \quad b_0 = 8.4803 \text{ kX} \quad ; \quad c_0 = 6.418959 \text{ kX}$$

$$V = 351.83021 \text{ kX}^3$$

Correspondiendo a las dimensiones recíprocas

$$a^* = 0.154399 \quad ; \quad b^* = 0.117694 \quad ; \quad c^* = 0.171760$$

$$V^* = 0.002825$$

con las mismas relaciones paramétricas respectivas,

$$a : b : c = 0.842065 : 1 : 0.756921$$

$$a^* : b^* : c^* = 1.311872 : 1 : 1.459377$$

y ángulos ya citados.

Estas determinaciones, aunque aparentemente extrañas a las concepciones clásicas ya admitidas sobre el monoclinismo de la durangita, no son de extrañar, estando del todo conformes con sus propiedades ópticas definidas con precisión desde hace ya más de 40 años (Larsen, 1921) y que hasta ahora han podido presentarse como un enigma.

Véase en la pág. 51 el cuadro comparativo de las determinaciones reticulares en la durangita.

CONTENIDO DE LA CELDA ELEMENTAL

Z = 4

Con base en los análisis citados por Hintze (1933), supone Kokkoros (1938) que aproximadamente $\frac{1}{2}$ del Al se halla sustituido por Fe. Esta afirmación parece algo forzada, con el intento de lograr el número cabal para Z = 4.03, o sea el de 4, que admite partiendo de una densidad de 4.00.

En nuestros análisis no hallamos esa proporción de sustitución isomorfa propuesta, sino según la fórmula $\text{Na}(\text{Al}, 2 \text{ Fe}) [\text{F}, \text{O} | \text{AsO}_4]$, con un peso molecular de $P_m = 335.57$ y densidad $d = 3.921$, mayor que la determinada por Machatschki. De esta manera se obedece al pensar de Kokkoros, de Machatschki, de Dana, aunque expresado en modos diferentes, dada la mayor proporción de Fe que contiene. (El segundo autor se refiere a la sustitución del radical AsO_4 por PO_4 en sus cristales artificiales).

Por lo referente al volumen molecular, nosotros lo determinamos ser de $V = 353.96656 \text{ A}^3$. Para la durangita artificial calcula primero Machatschki un volumen elemental de $V = 379 \text{ A}^3$; mas nuevas determinaciones de las constantes reticulares le llevan a $V = 361 \text{ A}^3$, más cercano al determinado por Kokkoros de $V = 353 \text{ A}^3$, coincidiendo exactamente con nuestros cálculos. Estas cantidades concuerdan asimismo con las magnitudes volumétricas de las celdas propias de sus miembros isomorfos, titanita y tilasita.

MATRIZ DE BOND

Se ha recomendado citar la matriz recíproca de Bond M^* , entre las constantes cristalinas de la especie que se describe. Por ello se calcula aquí, a base de las constantes reticulares determinadas: es la que se ha empleado en algunos de los cálculos efectuados (con la orientación que llamamos IV).

A partir de

$$\begin{array}{lll} a_0 = 7.155434 & b_0 = 8.49748 & c_0 = 6.431926 \\ \alpha = 89^\circ 45' 55'' & \beta = 64^\circ 50' 46'' & \gamma = 89^\circ 26' 51'' \\ a_0 : b_0 : c_0 = 0.842065 : 1 : 0.756926 \end{array}$$

se deduce,

$$M^* = \begin{bmatrix} a^* \sin \gamma^* & 0 & -c^* \sin \alpha^* \cos \beta^* \\ a^* \cos \gamma^* & b^* & c^* \cos \alpha^* \\ 0 & 0 & c^* \sin \alpha^* \sin \beta^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.154393 & 0 & -0.072999 \\ -0.000430 & 0.117694 & 0 \\ 0 & 0 & 0.155472 \end{bmatrix}$$

DIAGRAMAS DE POLVO

La durangita no tiene citado su diagrama de polvo en el tarjetero de la A.S.T.M.

En realidad, no se ha hecho aún hasta ahora ningún análisis de polvo por difracción, de los cristales que nos ocupan. Únicamente existe la referencia de varios diagramas de cristal giratorio en el trabajo de Machatschki (1941) en el que expone las intensidades y los correspondientes 2θ de los reflejos ecuatoriales determinados en varios de sus diagramas.

Con esos datos podemos establecer una comparación con nuestras líneas determinadas a base de varios diagramas de Debye y de registro espectrofotométrico obtenidos. (Anticátodo de Cu, radiación filtrada). De sus lecturas y de los datos anteriores resulta el cuadro comparativo expuesto a continuación.

En sus columnas se representan:

- I. Reflejos ecuatoriales de un diagrama de cristal giratorio de durangita natural —orientación de Kokkoros (Machatschki, 1941).
- II. Reflejos ecuatoriales de un diagrama de cristal giratorio de durangita artificial —orientación Kokkoros (Machatschki, 1941).
- III. Reflejos ecuatoriales de un diagrama de cristal giratorio de durangita natural en orientación de Des Cloizeaux (Machatschki, 1941).
- IV. Lecturas medias de diagramas de polvo, registrados fotográficamente (Método de Debye).
- V. Interpretación del registro fotométrico de una muestra de polvo de durangita natural (Tubo Geiger, rad. $\text{CuK}\alpha$).
- VI. Asignación de intensidades, valores 2θ y d a las líneas de un diagrama tipo de polvo, a base de los dos registros anteriores, previa corrección de 2θ . Este aspecto es el que se propone como tipo para la sustancia en estudio.

Al hacer la comparación entre nuestro diagrama de polvo con los giratorios de durangita se nota una mayor coincidencia con el de la orientación de Kokkoros estudiado por Machatschki (columna I).



TABLA COMPARATIVA DE LOS DIAGRAMAS DE POLVO

I	II	III	IV	V	VI
2θ	2θ	2θ	2θ	2θ	2θ
f 18.5	f 18.4	-	ff 18.475	60	18.7
-	-	-	m 20.044	-	-
-	-	-	-	25	25.2
-	-	-	f 26.497	33	26.7
-	-	-	ff 27.487	92	27.6
m 30.9	m 30.3	f 29.6	ff 29.935	100	30.1
-	-	-	d 30.972	14	31.2
-	-	f 34.5	-	30	34.6
-	-	-	ff 35.050	85	35.2
-	f 37.0	-	dd 36.762	23	37.0
d 37.5	-	-	-	-	-
-	-	-	d 40.147	24	40.0
-	-	-	dd 40.787	24	40.9
-	-	-	d 43.287	-	-
-	-	-	d 45.572	12	45.7
d 48.3	d 47.2	-	-	-	-
-	-	-	dd 49.612	-	-
-	-	-	dd 50.000	10	49.782
-	ff 52.3	-	dd 52.062	22	52.3
f 53.1	-	-	d 53.400	15	53.570
-	-	-	d 54.755	15	54.945
-	-	f 55.6	-	-	-
-	-	-	m 56.447	50	56.7
-	-	-	dd 57.750	10	57.920
-	-	-	d 60.085	10	60.255
-	-	d 61.5	dd 61.425	10	61.596
-	-	-	d 62.460	10	62.630
ff 64.4	ff 63.0	-	-	-	-
-	-	-	dd 64.575	10	64.745
-	-	dd 72.5	dd 65.725	5	65.895
-	f 98.1	-	-	-	-
f 100.0	-	-	-	-	-

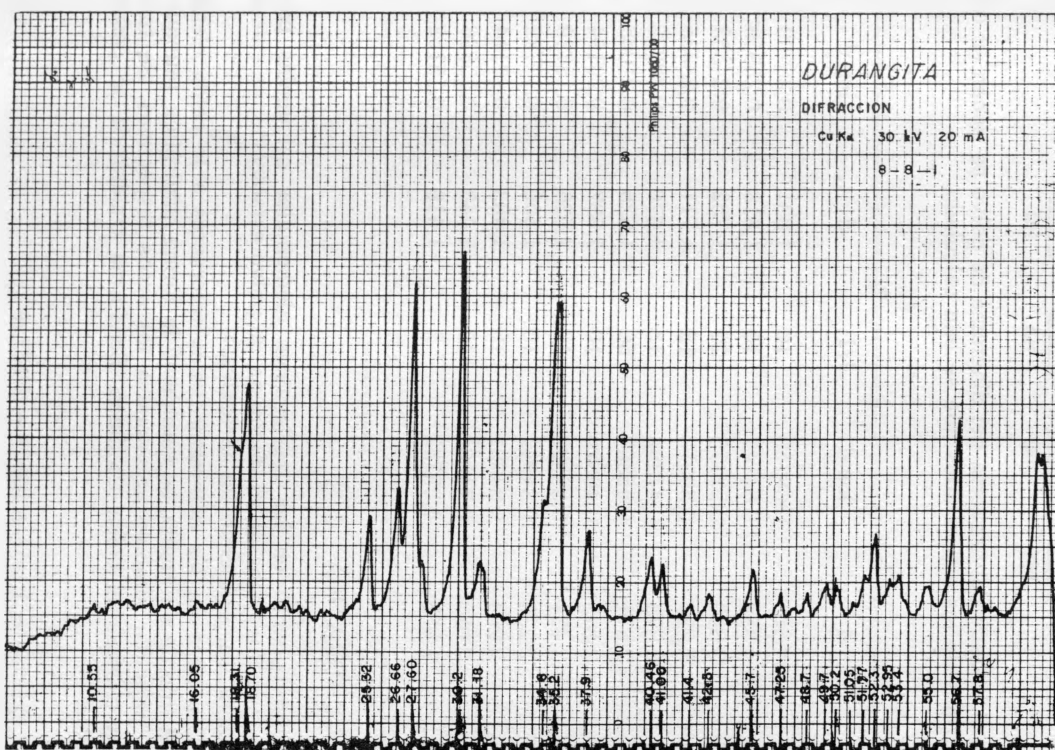


FIGURA 31. Curva espectrofotométrica de una muestra de polvo de durangita.

La sigla representativa del diagrama de polvo (obedeciendo a las normas del tarjetero de la A. S. T. M.) es,

2.978	3.222	2.548	4.805
100	90	85	60

Para el trazado del esquema del diagrama de polvo se tienen en cuenta los logaritmos de los espaciados que se han calculado:

I/I	d	log d	I/I	d	log d
60	4.805	0.68169	10	1.831	0.26269
45	4.380	0.64147	10	1.818	0.25959
35	3.340	0.52375	20	1.752	0.24353
90	3.222	0.50813	15	1.711	0.23325
10	2.978	0.47392	15	1.670	0.22272
15	2.871	0.45803	50	1.625	0.21085
85	2.548	0.40620	10	1.592	0.20194
20	2.434	0.38632	10	1.536	0.18639
25	2.236	0.34947	10	1.506	0.17782
25	2.204	0.34321	10	1.483	0.17114
10	2.083	0.31869	10	1.440	0.15836
15	1.983	0.29732	5	1.418	0.15168

FORMA CUADRATICA

Con fundamento en las traslaciones elementales calculadas para la durangita y en los datos de su diagrama de polvo establecido, se calculó su forma cuadrática, siguiendo las directivas:

1o. Con base en las determinaciones referentes a la celda elemental del cristal tipo de durangita, se estableció la forma cuadrática (aunque restringida) para dar símbolo adecuado a los arcos respectivos. Se tuvo en cuenta su calidad de celda triclinica. Su forma cuadrática se desarrolló a base de

$$Q = \frac{1}{d^2} = h^2 a^{*2} + k^2 b^{*2} + l^2 c^{*2} +$$

$$+ 2 k l b^* c^* \cos \alpha^* + \quad (I)$$

$$+ 2 l h c^* a^* \cos \beta^* + \quad (II)$$

$$+ 2 h k a^* b^* \cos \gamma^* \quad (III)$$

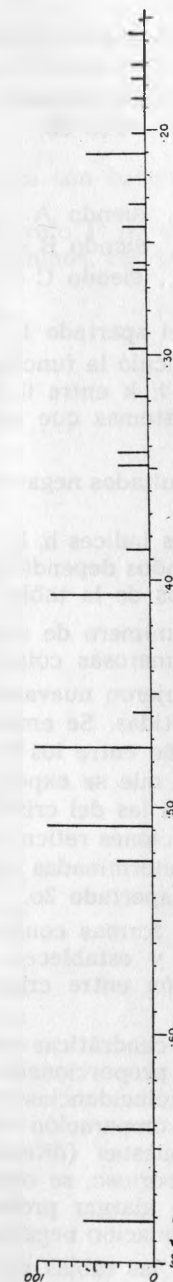


FIGURA 32. Esquema del diagrama de polvo de durangita.

la que con

$$\begin{array}{lll} a^* = 0.154399 & b^* = 0.117694 & c^* = 0.171760 \\ \alpha^* = 90^\circ 00' & \beta^* = 115^\circ 09' & \gamma^* = 90^\circ 30' \end{array}$$

y los términos

$$\begin{array}{l} I = k l A, \text{ siendo } A = 0 \\ II = l h B, \text{ siendo } B = -0.096164 \\ III = h k C, \text{ siendo } C = -0.001268 \end{array}$$

se formó la tabla expuesta en el apartado 1º.

Es de advertir que no se calculó la función para todos los índices, sino para aquellos h y l entre 0 y 4; k entre 0 y 6. En la serie de términos obtenidos se notan algunos diastemas que vienen de los sumandos negativos. En efecto,

- pronto se obtuvieron resultados negativos para Q, que fueron excluidos de consideración.
- de haber operado con los índices h, k, l mayores, también hubieran sido grandes los sustraendos dependientes de los cosenos, quedando así cubiertos los espacios de la tabla.

No obstante el restringido número de símbolos tenidos en consideración, se pueden apreciar ya numerosas coincidencias.

2o. Por este camino se dedujeron nuevamente las constantes de la red en confirmación de las ya admitidas. Se emplearon para ello los métodos de Ito y de Bond. La comparación entre los Q observados y los calculados ha permitido asegurar las cifras que se exponen y confirmar la existencia de otras formas algo diferentes a las del cristal tipo de durangita. Cual ya se indicó al determinar las traslaciones reticulares, estos fragmentos aproximan sus dimensiones a las ya determinadas por otros autores: se exponen los resultados en las tablas del apartado 2o.

Se puede decidir que estas formas confirman los diversos grados de sustitución isomorfa postulada, y establecen un tramo de términos que incluiría los grados de transición entre cristales naturales y artificiales considerados por Machatschki.

3o. Comparando las formas cuadráticas así calculadas, con los valores obtenidos a base de los datos proporcionados por los otros autores, se percibe una notable mayoría de coincidencias en favor de los nuestros. Aunque se recalcularon para esta comparación cuantas posibilidades ofrecen las 7 modalidades clásicas propuestas (diferentes constantes de la celda elemental) con esfuerzo muy laborioso, se omite aquí la exposición de las tablas correspondientes para no alargar prolijamente este informe, tanto más que se trataría de una confirmación negativa de los datos propuestos.

4o. Obedeciendo a lo dicho, las tablas siguientes se presentan en dos secciones:

- Forma cuadrática inductiva para el cristal tipo de durangita, calculada con base en sus dimensiones reticulares ya conocidas.
- Forma cuadrática deductiva, habida cuenta del diagrama de polvo.

SECCION 1a.: Forma cuadrática con base en las dimensiones calculadas.

Según se expresó en el párrafo 1º de este artículo, el desarrollo de la función Q dio los siguientes términos, con las restricciones indicadas:

Q = 0.000856 → hkl = 103	Q = 0.212416 → hkl = 230
0.002387 122	0.221632 040
0.010048 121	0.240399 140
0.013440 113	0.242672 032
0.013852 010	0.251133 041
0.023839 100	0.256290 338
0.029501 001	0.265509 003
0.035049 411	0.266149 251
0.036423 110	0.279361 013
0.040192 242	0.289475 152
0.043353 011	0.297136 151
0.049589 231	0.306844 240
0.053728 123	0.320917 023
0.055408 020	0.339636 042
0.070379 132	0.346300 050
0.071533 421	0.349450 340
0.076711 120	0.363799 150
0.078040 131	0.375801 051
0.084909 021	0.381424 400
0.090459 341	0.390177 033
0.095356 200	0.390204 410
0.106672 210	0.426688 420
0.111199 104	0.428976 250
0.118004 002	0.464304 052
0.121720 133	0.470314 350
0.124668 030	0.472016 004
0.131856 012	0.485868 014
0.143034 300	0.487141 043
0.144017 241	0.490876 430
0.144703 130	0.498672 060
0.145692 220	
0.153082 310	
0.154169 031	
0.166075 142	
0.173412 022	
0.174036 141	
0.190834 320	

SECCION 2a.: Forma cuadrática calculada, en comparación con los valores observados, a tenor de los arcos del diagrama de polvo (cristales menores, más claros y hábito también prismático).

Límite de términos $Q = 0.5$. Se reúnen los resultados en una sola tabla de exposición: sus dos primeras columnas constituyen la premisa del problema; las otras permiten la confrontación de los resultados que se calculan.

2θ (corr)	Q (obs)	Q (calc)	Δ	Simb.
18.475	-	-	-	-
20.257	0.052003	0.052872	0.000869	020
26.667	089449	089124	000325	002
27.657	096084	099060	002976	200
30.105	113457	112278	001179	210
-	-	-	-	-
31.142	121235	118962	002273	030
35.220	154017	151932	002085	220
-	-	154405	000388	102
36.932	168803	161857	006946	201
40.317	199777	200529	000752	003
40.957	205897	208086	002189	032
-	-	211488	005591	040
43.457	230555	233769	003214	041
-	-	236103	005548	310
-	-	236253	005698	140
45.742	254163	253401	000762	023
49.782	298075	-	-	-
50.170	302461	300612	001849	042
-	-	305940	003479	301
52.232	326035	330450	004415	050
53.570	341729	341847	000118	330
54.945	358057	352731	005326	051
-	-	355215	002842	150
-	-	356496	001561	004
56.617	378333	-	-	-
57.920	394514	396340	001726	400
60.255	423866	421137	002729	203
-	-	429510	005644	250
61.595	0.441063	-	-	-
62.630	454560	449112	005448	420
64.745	482333	-	-	-
65.895	497676	498129	000453	061
-	-	499553	001877	401

Promedio de errores = +0.000414

Deducción de las dimensiones recíprocas:

	Q (calc.)	Q (obs.)	Error
Q (100)	0.024765	...	...
Q (200)	0.099060	0.096084	- (0.002976 : 4) = -0.000744
Q (300)	0.222885	0.230555	+ (0.007670 : 9) = +0.000852
Q (400)	0.396240	0.394514	- (0.001726 : 16) = -0.000107

Desviación media +0.000000

	Q (calc.)	Q (obs.)	Error
Q (010)	0.013477	...	...
Q (020)	0.053908	0.052003	- (0.000685 : 4) = -0.000171
Q (030)	0.121293	0.121235	- (0.000058 : 9) = -0.000006
Q (040)	0.215632	0.205897	- (0.009735 : 16) = -0.000608
Q (050)	0.336925	0.326035	- (0.010890 : 25) = -0.000435
Q (060)	0.485172	0.482333	- (0.002839 : 36) = -0.000078

Desviación media -0.000259

	Q (calc.)	Q (obs.)	Error
Q (001)	0.022378	...	...
Q (002)	0.089512	0.089449	- (0.000063 : 4) = -0.000015
Q (003)	0.201402	0.199777	- (0.001625 : 9) = -0.000180
Q (004)	0.358048	0.358057	+ (0.000009 : 16) = +0.000000

Desviación media -0.000097

De esos resultados se deducen:

$$Q(100) = 0.024765 + 0.000000 = 0.024765 = a^{*2} ; a^* = 0.1574$$

$$Q(010) = 0.013477 - 0.000259 = 0.013218 = b^{*2} ; b^* = 0.1149$$

$$Q(001) = 0.022378 - 0.000097 = 0.022281 = c^{*2} ; c^* = 0.1493$$

Por las coincidencias entre las diferencias simétricas de los valores de Q (calc.) en la lista de los Q (obs.) se deducen:

a) que $\gamma^* = 90^\circ$

b) que $\alpha^* = 90^\circ$

c) que $\beta^* = 64^\circ 28'$

Al formar las tablas de los hkl posibles, no se han tomado en cuenta los índices negativos, para aligerar los cálculos; tampoco intervinieron los índices superiores a 6 (esto es, no superiores a los correspondientes para $2\theta = 65^\circ$, que son los reflejos registrados). No es de extrañar la falta de

asignación de símbolos a ciertas líneas, así como el que algunos términos calculados carezcan de su correspondiente línea de difracción: no habiendo extendido el cálculo a las intensidades de los reflejos, admitimos como sumamente débiles o nulos a éstos.

Así se confirman las dimensiones de la celda elemental monoclinica calculada con base en los diagramas de cristal giratorio y de Weissenberg, pág. 82, para las partes de la muestra que allí se tratan. Queda en pie la observación hecha con respecto a la asignación de β y de β^* , imposible discernir por este procedimiento, ya que tratándose de cuadrados y de funciones coseno, cabe dualidad de resultados.

GRUPO ESPACIAL

A base de los datos röntgenográficos obtenidos por Kokkoros (1937) de unos diagramas de cristal giratorio y de otros de Weissenberg ecuatoriales, irradiando cristales (de 3-6 mm de espesor) y unas barritas prismáticas (de 1 mm de grosor y 3 mm de longitud, según las direcciones [001], [101], [010] obtuvo el análisis de los reflejos, cuyos ennegrecimientos generaliza

Reflejos hkl sólo con	$h + k = 2n$
h0l	$h = 2n ; l = 2n$
0k0	$k = 2n$

determinando así el grupo C_{2h}

Este grupo tiene:

1o. planos de deslizamiento, paralelos a [010]:

a) con la componente $\frac{c}{2}$ por $b = 0$, $b = \frac{1}{2}$

b) con la componente $\frac{a}{2} + \frac{c}{2}$ por $b = \frac{1}{4}$, $b = \frac{3}{4}$

2o. ejes binarios paralelos a [010] en $z = \frac{1}{4}$, $z = \frac{3}{4}$

Sus localizaciones puntuales correspondientes se expresan en la tabla I (Cf. pág. 102).

El factor de estructura tiene por expresión en este grupo:

$$F_1 = 8 \cos 2\pi(hx + lz) \cos 2\pi ky, \text{ para } l = 2n$$

$$F_2 = -8 \sin 2\pi(hx + lz) \sin 2\pi ky, \text{ para } l = 2n + 1$$

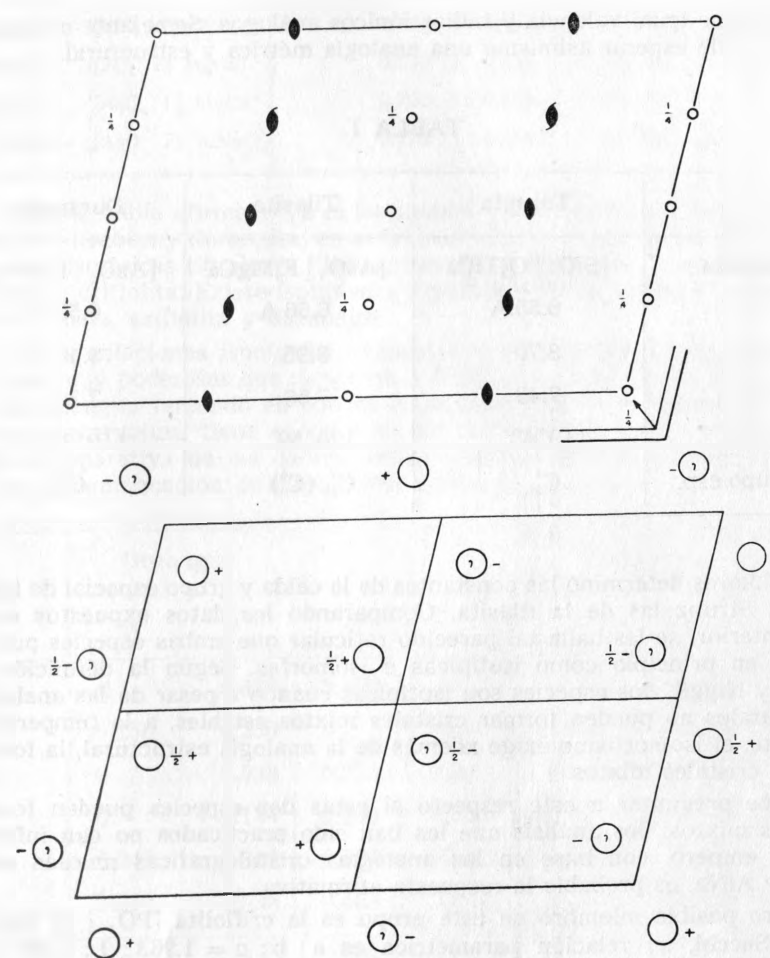


FIGURA 33. Grupo espacial C_{2h} .

ISOMORFISMO E ISOTIPISMO

Los dos minerales tilasita y durangita fueron tenidos hasta los estudios de Strunz (1938) como cristalográficamente muy diferentes.

En las siguientes observaciones seguimos el parecer de este autor.

Las fórmulas de las especies citadas son $[AsO_4]F[MgCa]$ y $[AsO_4]F[AlNa]$ respectivamente. Su parte electronegativa es idéntica $[As|F]$; la electro-

positiva tiene igual valencia y radios iónicos análogos. Semejante es su quimismo: es de esperar asimismo una analogía métrica y estructural.

TABLA I

	Titanita	Tilasita	Durangita
Fórmula	[SiO ₄ | O]TiCa	[AsO ₄ | F]MgCa	[AsO ₄ | F]AlNa
a ₀	6.55 Å	6.66 Å	6.53 Å
b ₀	8.70	8.95	8.46
c ₀	7.43	7.56	7.30
β	119° 43'	120° 59'	119° 22'
Grupo esp.	C _{2h} ⁶	C _{2h} ⁶ (C _s ⁴)	C _{2h} ⁶

Kokkoros determinó las constantes de la celda y grupo espacial de la durangita; Strunz las de la tilasita. Comparando los datos expuestos en la tabla anterior, se les halla tal parecido reticular que ambas especies pueden tenerse en principio como isotípicas e isomorfas. Según la definición de Strunz y Niggli, dos especies son isotípicas cuando a pesar de las analogías estructurales no pueden formar cristales mixtos estables, a la temperatura ambiente; el isomorfismo exige además de la analogía estructural, la formación de cristales mixtos.

Cabe preguntar a este respecto si estas dos especies pueden formar cristales mixtos: los análisis que les han sido practicados no dan informe alguno; empero, con base en las analogías cristalográficas mutuas entre MgCa y AlNa, es probable la respuesta afirmativa.

Otro posible miembro de este grupo es la criolita [PO₄ | F] Mg Ca. Según Sacchi, su relación paramétrica es a : b : c = 1.963 : 1 : 1.664 con β = 114° 08'. Aplicándole la transformación:

$$\begin{aligned} \bar{1}00 \text{ antigua} &= [100] \text{ nueva} \\ [304] & \quad [001] \\ \frac{1}{2} [010] & \quad [010] \end{aligned}$$

se tiene:

$$a : b : c = 0.736 : 1 : 0.856 \quad \text{con } \beta = 117^\circ 33'$$

que permite la comparación con las otras dos.

Titanita	[SiO ₄ | F] TiCa	a : b : c = 0.755 : 1 : 0.854	β = 119° 43'	Des Cloiz.
Criolita	[PO ₄ | F] MgCa	0.736 : 1 : 0.856	117° 33'	Strunz
Tilasita	[AsO ₄ | F] MgCa	0.750 : 1 : 0.839	126° 59'	Smith y Prior
Durangita	[AsO ₄ | F] AlNa	0.772 : 1 : 0.856	119° 22'	Kokkoros

Strunz había afirmado ya el isotipismo entre tilasita y titanita; Kokkoros el de titanita y durangita; en el trabajo último citado de aquél se asegura como isotípicas titanita y tilasita, titanita y durangita, y quizás también titanita y criolita. Existe isotipismo y probablemente también isomorfismo entre tilasita, criolita y durangita.

Estas relaciones isomorfas expuestas y mismo grupo espacial fueron razones muy poderosas que movieron a Kokkoros al cálculo de la estructura de la durangita teniendo en cuenta la ya publicada de la titanita. Su hipótesis de estructura tiene el carácter de verificación. Aquí se adelanta la tabla comparativa de las coordenadas atómicas de ambas estructuras por modo de confirmación de las razones aducidas.

	Durangita			Titanita			
	x	y	z	x	y	z	
As	0	0.433	0.250	Si	0	0.431	0.250
Al	0.250	0.250	0	Ti	0.250	0.250	0
Na	0	0.083	0.250	Ca	0	0.082	0.250
F	0	-0.194	0.250	O I	0	-0.187	0.250
O I	0.041	0.317	0.083	O III	0.028	0.322	0.100
O II	0.244	0.539	0.403	O II	0.250	0.539	0.400

En esas tablas de comparación no se orientan ambos minerales según Des Cloizeaux: se ha corrido el punto de origen $\left[\frac{1}{4} \frac{1}{4} 0 \right]$ y la antigua dirección [10 $\bar{1}$] se elige como eje c, manteniendo inalterada la antigua dirección de y (orientación de Kokkoros).

OBJETIVO ESPECIAL PARA EL ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA

El parentesco ya observado sobre la constitución reticular de los silicatos con respecto a los arseniatos y fosfatos, hace interesante la determinación estructural de los nuevos términos intermedios.

La estructura cristalina de la titanita fue determinada por W. H. Zachariasen (Zeitschr. f. Krist. 78 [1930] 7). La durangita $\text{NaAlF}(\text{AsO}_4)$ tiene una fórmula empírica correspondiente a la de titanita $\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)$ y a la tilasita $\text{CaMgF}(\text{AsO}_4)$, ambas especies pertenecientes al mismo tipo estructural, según H. Strunz (Zeitschr. f. Krist. 96 [1937] 7). Hay otras semejanzas cristalográficas entre titanita y durangita con respecto a sus relaciones axiales y al carácter pseudo-hexagonal del eje b. Tales analogías hacen suponer que la durangita pertenece al mismo tipo estructural que la titanita.

El intento de resolver este problema movió a Kokkoros (1938) a emprender la determinación estructural de la durangita.

DETERMINACION DE LA ESTRUCTURA

La celda elemental contiene cuatro unidades $\text{NaAlF}[\text{AsO}_4]$; por lo tanto, en total 4 Na, 4 Al, 4 F, 4 As y 160 que se han de distribuir en la celda elemental.

Kokkoros sigue el siguiente razonamiento para tales distribuciones:

Dado el aspecto tetraédrico del grupo AsO_4 , para el átomo de As sólo será posible una situación cuádruple en los digiros.

Exceptuando los átomos de O que están en posición general, los otros átomos pueden estar en los centros de simetría (situaciones a - d de la tabla I (pág. 102) o en los digiros (situación E).

Se habrá de determinar luego la situación del átomo de As sobre los digiros (1 grado de libertad); por las dimensiones del tetraedro AsO_4 (ya conocido mediante otras estructuras (Machatschki, Zeitschr. f. Krist. 90 (1935) 44; 94 (1936) 20) se pueden llegar a fijar los átomos de O.

Prescindiendo de toda suposición, es posible estudiar directamente a la durangita, a partir de los datos röntgenológicos.

Se calcula una síntesis de Patterson para localizar los átomos de As (fuertemente difundentes).

Considerando una proyección de los elementos de simetría correspondientes al grupo espacial, sobre (001), resulta para un átomo de As colocado sobre un eje binario (0y), con coordenada y As, mientras que el plano de deslizamiento en $y = \frac{1}{4}$ da un átomo de As en la posición $(\frac{1}{2} \frac{1}{2} - y_{\text{As}})$.

El vector interatómico entre ambos átomos de As dará un máximo de la serie F_{hko} con las coordenadas $x = \frac{1}{2}$ $y = (\frac{1}{2} - 2y_{\text{As}})$.

Si se tratase sólo de la posición de este máximo, se podría efectuar tal proyección a partir de los valores relativos de F_{hko}^2 obtenidos por los ennegrecimientos de los reflejos correspondientes en un diagrama de Weissenberg. Dichos ennegrecimientos, y de éstos, las intensidades, se dieron previamente en el trabajo de Kokkoros (Z. f. K. 96 [1937] 422). En la figura 34 se representan los resultados de esta proyección.

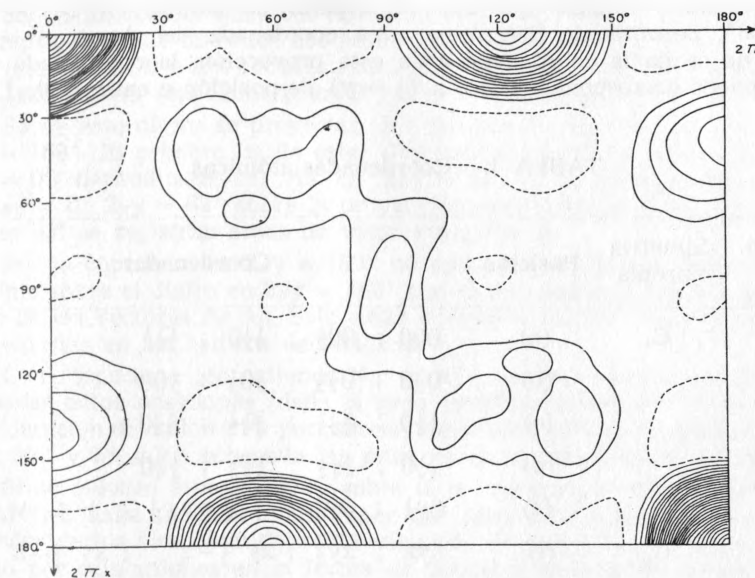


FIGURA 34. Proyección sobre (001) de una síntesis bidimensional de Patterson.

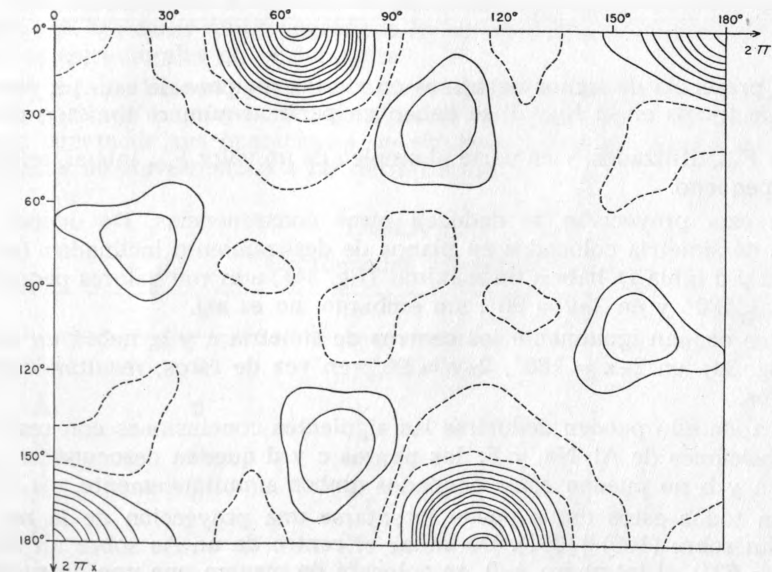


FIGURA 35. Proyección sobre (001) de una síntesis bidimensional de Fourier.

El máximo intenso que era de esperar se hallase en $2\pi x = 180^\circ$ $2\pi y = 56^\circ$, permitiendo determinar una coordenada del As en $y = 62^\circ$. (Como no se da la coordenada z en esta proyección, la coordenada dada de 56° puede corresponder a y o a $(\frac{1}{2} - y)$ de posición e en la tabla I.)

TABLA I: Coordenadas atómicas

Multiplididad	Simetría propia	Posición	Coordenadas
4	C_i	(a)	$000 ; 00\frac{1}{2} ; \frac{1}{2}0 ; \frac{1}{2}\frac{1}{2}$
		(b)	$0\frac{1}{2}0 ; 0\frac{1}{2}\frac{1}{2} ; \frac{1}{2}0\frac{1}{2} ; \frac{1}{2}00$
		(c)	$\frac{1}{4}\frac{1}{4}0 ; \frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{2} ; \frac{3}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{2} ; \frac{3}{4}\frac{3}{4}0$
		(d)	$\frac{3}{4}\frac{1}{4}0 ; \frac{3}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{2} ; \frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{2} ; \frac{1}{4}\frac{3}{4}0$
	C_2	(e)	$0y\frac{1}{4} ; 0\bar{y}\frac{3}{4} ; \frac{1}{2} \frac{1}{2} + y \frac{1}{4} ; \frac{1}{2} \frac{1}{2} - y \frac{3}{4} ;$
	C_1	(f)	$xyz ; \bar{x}\bar{y}\bar{z} ; \bar{x}y \frac{1}{2} - z ; x\bar{y} \frac{1}{2} + z ;$ $\frac{1}{2} + x \frac{1}{2} + y z ; \frac{1}{2} - x \frac{1}{2} - y \bar{z} ;$ $\frac{1}{2} - x \frac{1}{2} + y \frac{1}{2} - z ; \frac{1}{2} + x \frac{1}{2} - y \frac{1}{2} + z.$

La presencia de signos negativos en ciertas regiones de esta proyección (raya de trazos en la fig. 1) se deben en parte al número limitado de los valores F_{hko}^2 utilizados, y en parte al empleo de un valor F_{000}^2 inicial, relativamente pequeño.

De esta proyección se deducen otras consecuencias. De ocupar los centros de simetría colocados en planos de deslizamiento inclinados (situaciones c y d tabla I) habría un máximo (fig. 34), aun con valores pequeños, en $2\pi x = 180^\circ$ y en $2\pi y = 90^\circ$: sin embargo, no es así.

Si se ocupan igualmente los centros de simetría a y b, habrá un máximo (Fig. 34) en $2\pi x = 180^\circ$, $2\pi y = 90^\circ$; en vez de éstos, resultan valores negativos.

De todo ello pueden deducirse las siguientes conclusiones con respecto a las posiciones de Al, Na, y F: los puntos c y d quedan desocupados. Los puntos a y b no pueden estar ocupados ambos simultáneamente.

Con todos estos datos puede intentarse una proyección de la red de durangita sobre $(100) \parallel [001]$. De situar el centro de un As sobre un digiro de $2\pi y = 62^\circ$: el tetraedro AsO_4 se colocará de manera que uno de sus ejes binarios coincida con el digiro.

Según las dimensiones del tetraedro AsO_4 en relación con el eje b de durangita, deberían tener los dos átomos de oxígeno más próximos al origen (los llamaremos O') con coordenadas $2\pi y \sim 20^\circ$, los otros dos restantes, del otro lado del As (los llamaremos O'') con coordenadas $2\pi y \sim 105^\circ$.

Sobre este digiro se proyectan dos centros de simetría en $2\pi y = 0^\circ$ y $2\pi y = 180^\circ$. El primero ha de estar desocupado, pues, habría un átomo en $2\pi y = 0^\circ$ dependiente del As en $2\pi y = 62^\circ$ y se crearía un máximo en $2\pi x = 0^\circ$ $2\pi y = 62^\circ$ sobre la proyección de Patterson (Fig. 34); en vez de ser así se registran áreas de valores negativos.

Por lo contrario, en $2\pi y = 180^\circ$ no entra ningún átomo. Se crearía un máximo sobre el digiro en $2\pi y = 180^\circ$ con el As, que se cubriría con el máximo de los vectores As-As. Sólo están ocupados por las cuatro situaciones cuaternarias en los centros de simetría.

Con respecto a los cationes Na^+ y Al^{3+} , por los cuales podrían estar ocupadas estas posiciones (dada la gran proximidad del O^{-2} , se excluye la consideración del anión F^{-1}) por razones espaciales sólo serían propias del Al. Para Na^+ y F^- salen sobrando las situaciones cuaternarias sobre el digiro.

Si se colocan átomos de F^- sobre la proyección en proximidad de los de Al^{3+} se halla fácilmente un lugar por giro de los tetraedros AsO_4 en derredor de los ejes binarios, en donde cada Al (en $z = 0$, $z = \frac{1}{2}$) está rodeado por seis aniones en la forma de octaedro deformado, o sea $4 O^{-2}$ y $2 F^-$ colocados sobre centros de simetría en $z = \frac{1}{4}$ $z = \frac{3}{4}$. En consecuencia, queda en el digiro un lugar para el catión Na^+ , rodeado por $6 O^{-2}$ y un F^- .

Esta distribución de átomos hallada mediante razonamientos directos a partir de los datos röntgenográficos ha de admitirse como base de las relaciones estructurales en la durangita.

En la tabla II se exponen las coordenadas de los átomos colocados en la cuarta parte de la proyección; de ellas se deducirán las de la celda total, habida cuenta de sus operaciones de simetría. Como es natural, estas coordenadas no corresponden a las de la tabla I.

TABLA II
Coordenadas atómicas

	x	y	z	Simetría
As	0	$y_{As} (62^\circ)$	$\frac{3}{4}$	C_2
Al	0	$\frac{1}{2}$	0	C_i
Na	0	y_{Na}	$\frac{1}{4}$	C_2
F	0	y_F	$\frac{1}{4}$	C_2
O'	x.	y.	z.	C_1
O''	x..	y..	z..	C_1

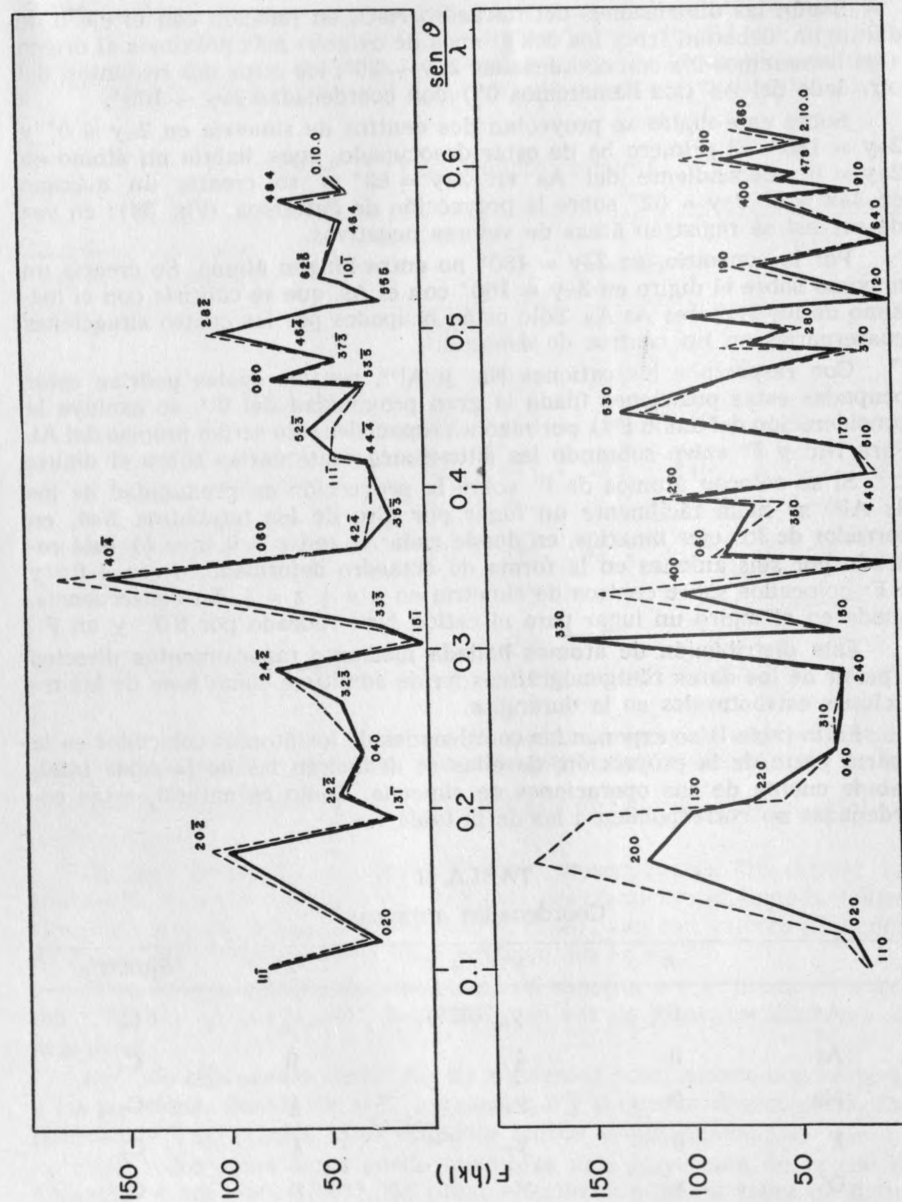


FIGURA 36. Comparación entre los factores de estructura F calculados y las intensidades observadas.

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS (Kokkoros, 1938)

Según la tabla II, se han de determinar en total 9 parámetros.

Se buscan primero las coordenadas x y de los átomos en una proyección sobre (001) || [001].

A partir de los datos citados anteriormente sobre las posiciones probables del tetraedro AsO₄ y de los otros átomos, se indaga una coincidencia entre los valores de F_{hko} calculados y observados.

Luego de cumplidas aproximadamente las condiciones, se utilizan los signos de F_{hko} calculados, y con base en los F_{hko} observados se traza una síntesis bidimensional de Fourier que dará la proyección de la densidad electrónica sobre (001) paralela a [001].

Esta proyección se presenta en la figura 35.

El átomo As sobresale allí por su fuerte relieve, cuya cúspide está en 2πx = 0°, 2πy = 65°.

La posición del átomo de Na se halla cubierta por la del átomo de As. Lo mismo acontece con respecto al átomo de F, que se encuentra también en la proyección muy cerca de los átomos de Al.

Las posiciones de O' y de O'' se hallan presentadas con claridad: de ellas se obtienen las coordenadas

$$x' = 75^\circ, y' = 24^\circ; x'' = 33^\circ, y'' = 104^\circ$$

Con base en estas coordenadas se buscan por tanteo "trial and error" las posiciones del Na y del F, que en la proyección de Fourier sólo se tomaron de un modo aproximado. (En el cálculo se considera 1/3 del Al reemplazado por Fe.)

Para determinar las coordenadas z de O' y de O'' aún incógnitas, a partir de los reflejos de un Weissenberg ecuatorial (I[101]) se calculan los términos F_{hkl} (con |h| = |l|) correspondientes, y a partir de éstos se obtiene el parámetro z por tanteo ("trial and error").

La mejor coincidencia se logra mediante la siguiente combinación de coordenadas atómicas (tabla III):

TABLA III: Coordenadas atómicas

	2πx	2πy	2πz	x/a	y/b	z/c	Posición
As	0°	114°	90°	0	0.317	0.25	(e)
Al	0°	0°	0°	0	0	0	(a)
Na	0°	240°	90°	0	0.667	0.25	(c)
F	0°	340°	90°	0	0.944	0.25	(e)
O'	75°	156°	150°	0.208	0.433	0.417	(f)
O''	33°	76°	35°	0.092	0.211	0.097	(f)

Teniendo en cuenta las coordenadas de esta tabla, se toma como origen (000) la posición (a) de un átomo de Al, que habida cuenta de la discusión anterior (tabla II) quedará en una posición $\frac{1}{2}a$.

Con esta operación, las coordenadas corresponderán a las expresadas en la tabla I. En las tablas IV y V se expone la comparación entre los valores F calculados y los observados. Por los datos y curvas de la figura 36 se demuestra ser buena la coincidencia. Fuera de desviaciones insignificantes en algunos reflejos que caen dentro de los límites de error en la determinación de los valores F por medio fotográfico, ambas curvas tienen recorrido análogo, de modo que se puede concluir por la legitimidad de la estructura adoptada y de las posiciones atómicas asignadas.

DISCUSION DE LA ESTRUCTURA

Al discutir Kokkoros su hipótesis de estructura expuesta en el párrafo anterior, establece una comparación leptonológica con la de la titanita.

A. CON LA ORIENTACIÓN DE DES CLOIZEAUX (MORFOLÓGICA):

La estructura propuesta en la figura 37 es con relación a la orientación de Des Cloizeaux. (La proyección de Fourier representada en la figura 35 se refiere a sólo un cuarto de celda elemental limitada por los vértices $\frac{1}{2}0$, $\frac{1}{2}\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$ y 10).

Tiene como poliedros de coordinación al tetraedro AsO_4 , al octaedro AlO_4F_2 y al poliedro NaO_6F .

a) Los centros O^{2-} se hallan a una distancia de 1.68 Å del centro de As^{+5} formando un tetraedro casi regular en derredor de éstos. Las separaciones aniónicas en el tetraedro son $O' - O'' = 2.72$ Å, $O'' - O''' = 2.86$ Å, $O' - O''' = 2.86$ Å, $O' - O'' = 2.70$ Å respectivamente.

b) Las distancias entre cationes y aniones en un octaedro de AlO_4F_2 son $Al - F = 1.81$ Å, $Al - O' = 1.81$ Å, $Al - O'' = 1.90$ Å; entre los aniones $O' - F = 2.52$ Å y 2.63 Å respectivamente; $O'' - F = 2.82$ Å y 2.60 Å

TABLA IV

RÖNTGENOGRAMA DEL ECUADOR, MEDIANTE GIRO EN DERREDOR DEL EJE C

Reflejos hko	F_{hko} obs.	F_{hko} calc.	Indices (Orient. Kokkoros)
110	14	- 17	$\overline{111}$
020	23	- 28	$\overline{020}$
200	120	+180	$\overline{202}$
130	100	-152	$\overline{131}$
220	70	- 56	$\overline{222}$
040	31	+ 30	$\overline{040}$
310	28	- 31	$\overline{313}$
240	25	+ 28	$\overline{242}$
330	154	-157	$\overline{333}$
150	29	+ 25	$\overline{151}$
400	105	+146	$\overline{404}$
420	0	+ 7	$\overline{424}$
060	82	+ 89	$\overline{060}$
350	66	+ 53	$\overline{353}$
260	102	+118	$\overline{262}$
440	12	+ 7	$\overline{444}$
510	17	+ 17	$\overline{515}$
170	18	- 13	$\overline{171}$
530	130	-121	$\overline{535}$
080	75	- 78	$\overline{080}$
370	18	- 13	$\overline{373}$
460	70	+ 83	$\overline{464}$
280	46	- 40	$\overline{282}$
600	99	+100	$\overline{606}$
550	56	+ 43	$\overline{555}$
620	0	- 2	$\overline{626}$
190	64	- 78	$\overline{191}$
640	0	+ 5	$\overline{646}$
480	63	- 51	$\overline{484}$
710	12	- 13	$\overline{717}$
570	55	- 49	$\overline{575}$
390	44	- 49	$\overline{393}$
0.10.0	45	+ 40	$\overline{0.10.0}$
730	80	-103	$\overline{737}$
2.10.0	35	+ 45	$\overline{2.10.2}$
660	67	+ 75	$\overline{666}$

TABLA V

RÖNTGENOGRAMA DEL ECUADOR, MEDIANTE GIRO EN DERREDOR DE [101]

Reflejos \bar{hkl}	$F_{\bar{hkl}}$ obs.	$F_{\bar{hkl}}$ calc.	Indices (Orient. Kokkoros)
$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$	78	+ 81	110
$\bar{2}0\bar{2}$	100	- 108	200
$\bar{1}\bar{3}\bar{1}$	17	- 14	130
$\bar{2}\bar{2}\bar{2}$	43	+ 41	220
$\bar{3}\bar{1}\bar{3}$	41	- 53	310
$\bar{2}\bar{4}\bar{2}$	73	+ 75	240
$\bar{1}\bar{5}\bar{1}$	0	- 4	150
$\bar{3}\bar{3}\bar{3}$	17	+ 19	330
$\bar{4}0\bar{4}$	160	+ 184	400
$\bar{4}\bar{2}\bar{4}$	34	- 30	420
$\bar{2}\bar{6}\bar{2}$	15	- 28	260
$\bar{3}\bar{5}\bar{3}$	16	+ 18	350
$\bar{4}\bar{4}\bar{4}$	26	+ 25	440
$\bar{1}\bar{7}\bar{1}$	42	+ 45	170
$\bar{5}\bar{1}\bar{5}$	57	+ 45	510
$\bar{5}\bar{3}\bar{5}$	30	- 28	530
$\bar{3}\bar{7}\bar{3}$	44	- 43	370
$\bar{4}\bar{6}\bar{4}$	80	+ 83	460
$\bar{2}\bar{8}\bar{2}$	104	+ 103	280
$\bar{6}0\bar{6}$	42	- 38	600
$\bar{5}\bar{5}\bar{5}$	20	- 19	550
$\bar{1}\bar{9}\bar{1}$	42	+ 39	190
$\bar{6}\bar{2}\bar{6}$	50	+ 51	620
$\bar{6}\bar{4}\bar{6}$	38	+ 42	640
$\bar{4}\bar{8}\bar{4}$	69	- 60	480
$\bar{3}\bar{9}\bar{3}$	34	- 39	390

respectivamente; $O' - O'' = 2.71 \text{ \AA}$ y 2.58 respectivamente, o sean con un valor medio de 2.64 \AA .

La distancia $O' - F = 2.52$ es algo menor, cual era de esperar por las dimensiones de sus radios iónicos. Esta desviación puede obedecer a una inexactitud en la determinación paramétrica de los aniones: su escaso poder difusivo disminuye su influencia sobre las intensidades de los reflejos, de manera que las coordenadas de los átomos ligeros se habrán de admitir con una aproximación de unos 3° .

c) Las dimensiones en el poliedro NaO_6F son $\text{Na} - \text{F} = 2.35 \text{ \AA}$, $\text{Na} - O' = 2.40 \text{ \AA}$, $\text{Na} - O'' = 2.47 \text{ \AA}$ y 2.44 respectivamente.

Cada O'^{-2} tiene como cationes más próximos a un As^{+5} , un Al^{+3} y un Na^+ , con los cuales se halla ligado mediante enlaces de valencia.

Cada O''^{-2} , a un As^{+5} , a un Al^{+3} y a dos Na^+ .

Cada anión F^- , a dos Al^{+3} y a un Na^+ .

Así se cumple la saturación de valencias según las reglas de Pauling:

$$\text{para } O'^{-2} : \frac{5}{4} + \frac{1}{2} + \frac{1}{7} = 1.89$$

$$\text{para } O''^{-2} : \frac{5}{4} + \frac{1}{2} + \frac{2}{7} = 2.03$$

$$\text{para } \text{F}^{-1} : \frac{3}{6} + \frac{3}{6} + \frac{1}{7} = 1.14$$

esto es, para los O^{-2} un valor muy próximo a 2; para F^{-1} uno muy cercano a 1 (saturación completa).

B. CON LA ORIENTACIÓN DE KOKKOROS (ESTRUCTURAL):

Si se representase la red de durangita de modo que se ponga de manifiesto su semejanza con la titanita, se habrá de elegir otra orientación. (Ya demostrada por Kokkoros en *Naturwiss.* 44 [1937] 717).

Para ello habrá que admitir como eje a la arista [101] de la orientación de Des Cloizeaux, conservando los ejes a y b.

En la tabla VI se han recalculado las coordenadas de durangita para esta nueva orientación, trasladando el origen axial hasta un centro de simetría; y se confrontan con las coordenadas atómicas de la titanita, según Zachariasen (*Zeitschr. f. Krist.* 78 [1930] 7) recalculados con referencia al mismo origen. Las posiciones de los átomos estructurales en ambos minerales se calculan con una aproximación de 1° .

Mediante esta orientación resalta la semejanza entre durangita y titanita, aun en el aspecto de su celda elemental; entre ambas:

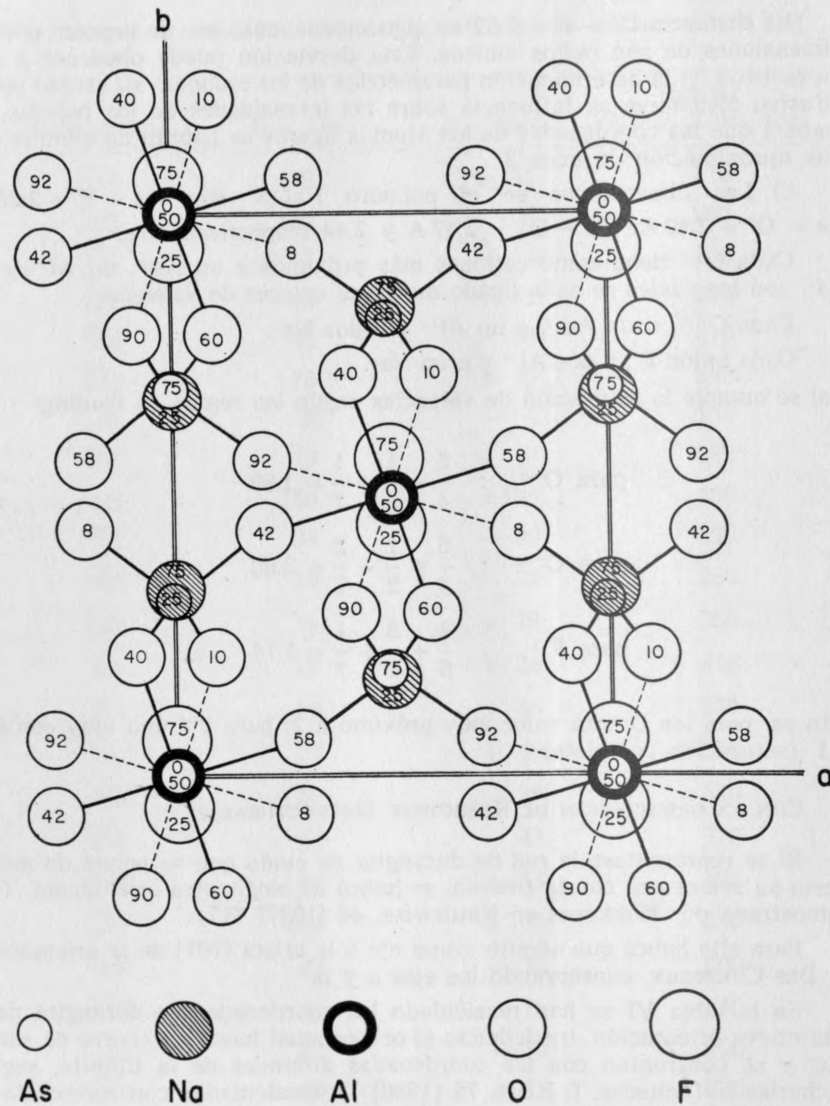


FIGURA 37. Hipótesis sobre la estructura de la durangita, Kokkoros (1937). Proyección sobre (001).

Durangita	$a_0 = 6.53 \text{ \AA}$	$b_0 = 8.46 \text{ \AA}$	$c_0 = 7.30$	$\beta = 119^\circ 22'$
Titanita	$a_0 = 6.55$	$b_0 = 8.70$	$c_0 = 7.43$	$\beta = 119^\circ 43'$

TABLA VI:
Comparación de Durangita con Titanita

	Durangita			Titanita (Zach.)			
	2x	2y	2z	2x	2y	2z	
As	0°	156°	90°	Si	0°	155°	90°
Al	90°	90°	0°	Ti	90°	90°	0°
Na	0°	30°	90°	Ca	0°	30°	90°
F	0°	290°	90°	O	0°	292.5°	90°
O ₁	15°	114°	30°	O ₂	10°	116°	36°
O ₂	88°	194°	145°	O ₃	90°	194°	144°

Aunque esta orientación axial se podría basar en criterios cristalográficos, dada la pseudohexagonalidad de la forma cristalina en ambos minerales (β es casi 120°), se puede también hacer patente su semejanza estructural en caso de admitir la orientación de Des Cloizeaux. Como se ve en la Fig. 37, con esta orientación, el tipo estructural manifiesta cadenas de octaedros de coordinación AlO_4F_2 a lo largo del eje c , en concatenación con los otros poliedros mediante un anión F^{-1} común (o un O^{-2} en la titanita). Sin embargo, las otras direcciones ($[101]$ en la durangita) carecen de rasgos estructurales característicos.

BIBLIOGRAFIA

- BRUSH, G. J. (1869). *Contributions from the Scheffield Laboratory of Yale College. No. XX. On Durangite, a fluo-arsenate from Durango in Mexico.* Amer. Journ. Science (II) 48.143 (1869) 179-182.
- DES CLOIZEAUX, M. (1875). *Note sur la forme cristalline et sur les propriétés optiques de la durangite.* Ann. Chim. Phys. 4 (1875) 401-406.
- DES CLOIZEAUX, M. (1877). *Nota sobre la forma cristalina y las propiedades ópticas de la Durangita.* La Naturaleza, Soc. Mex. Hist. Nat. 4 (1877-79) 44-47. Ann. Chim. Phys. 4 (1875) 401-406.
- GOLDSCHMIDT, V. (1886). *Index der Krystallformen der Mineralien.* Vol. I., p. 519. Springer. Berlín (1886).
- DANA, J. D. (1892). *System of Mineralogy.* 6° Ed. por E. S. Dana, p. 780. New York, (1892).
- AGUILERA, J. G. (1898). *Catálogos Sistemático y Geográfico de las Especies mineralógicas de la República Mexicana.* Inst. Geol. Méx., Bol. 11 (1898).
- JOHNSTON, R. A. A. (1907). *Mineralogical notes.* Geol. Survey., Dept. of Mines, Canada, Sum. Rep. 7 (1907) 96. Groth's Zeitschr. 46 (1907) 619.
- GROTH, P. (1908). *Chemische Krystallographie.* Vol. II, p. 845. Leipzig, (1908).
- LARSEN, E. S. (1921). *The Microscopic Determination of the Nonopaque Minerals.* p. 70. 1° Ed. (Larsen). U. S. Geol. Surv., Bull. 679 (1921). 2° Ed. (Larsen y Berman). U. S. Geol. Surv., Bull. 848 (1934).
- SALAZAR SALINAS, L. (1928). *Elementos de Geología.* (No. 558, p. 161). Talleres Gráficos, México (1928).
- HINTZE, C. (1933). *Handbuch der Mineralogie.* Vol. I., 4° parte, 1° mitad. p. 631. Walter de Gruyter. Berlín y Leipzig. (1933).
- STRUNZ, H. (1935). *Mineralien der Descloizitgruppe.* Konichalzit, Stassizit, Austinit, Duftit, Aräoxen, Volbortit, Pyrobelonit. Zeitschr. f. Kryst. (A) 101 (1935) 496-506. Naturwiss. 27 (1939) 423. Strukturbericht. 7 (1939) 151.
- KOKKOROS, P. (1937). *Ueber die Gitterkonstanten und die Raumgruppe von Durangit.* Naturwiss. 25 (1937) 717. Strukturbericht. 5 (1940) 95.
- KOKKOROS, P. (1938). *Ueber die Struktur des Durangit NaAlF (AsO₄).* Zeitschr. f. Kristallogr. (A) 99 (1938) 38-49. Strukturbericht. 6 (1938) 110.
- STRUNZ, H. (1938). *Isomorphie zwischen Tilasit, Durangit und Cryophiolit.* Zentralbl. Min. Geol. Paläont. (A) (1938) 59-60. Strukturbericht. 6 (1938) 112.

BIBLIOGRAFIA

- MACHATSCHKI, F. (1941). *A Synthese des Durangites NaAlF [AsO₄].* Zeitschr. f. Kristallogr. 103 (1941) 221-227.
- KLOCKMANN, F. y RAMDHOR, P. (1945). *Tratado de Mineralogía.* (Versión F. Pardillo, p. 524). Gili. Barcelona (1945).
- STRUNZ, H. (1949). *Mineralogische Tabellen.* p. 164. Akad. Verlagsgesell, Leipzig. (1949).
- SMITH, W. C., GUIZA, R., SEGERSTROM, K. (1950). *Tin Deposits of Durango, Mexico.* U. S. Geol. Surv., Bull. 962 D. (1950). Inst. Nac. Invest. Rec. Min., Bol. 36 (1957).
- PORTER, M. W. y SPILLER, R. C. (1956). *The Barker Index of Crystals.* Vol. II., Part. 2, No. 823. Heffer. Cambridge. (1956).
- DANA (1957). Véase: PALACHE, BERMAN, FRONDEL. (1957). (La cita se coloca así en obsequio a su brevedad).
- PALACHE, C., BERMAN, H., FRONDEL, C. (1957). *Dana's System of Mineralogy.* Vol. II, p. 827-829. Wiley. New York. (1957).
- SMITH, W. C., GUIZA, R., SEGERSTROM, K. (1957). *Los Yacimientos de Estaño en el Estado de Durango.* Inst. Nac. Invest. Rec. Min., Bol. 36 (1957). U. S. Geol. Surv., Bull. 962 D. (1950).

"Los Minerales Mexicanos. 3. Durangita" se terminó de imprimir el 15 de marzo de 1966 en IMPRENTA NUEVO MUNDO, S. A., Calzada del Moral 396, Ixtapalapa, México 13, D. F. Se tiraron 1,000 ejemplares.

BOLETINES DISPONIBLES DEL INSTITUTO DE GEOLOGIA

Para su adquisición, dirijase a:

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

- 50.—Las meteoritas mexicanas; generalidades sobre meteoritas y catálogo descriptivo de las meteoritas mexicanas. *J. C. Haro*. 86 p., 23 láms., 5 figs. 1931. \$50.00 M.N. o \$5.00 Dlls.
- 51.—Zonas mineras de los Estados de Jalisco y Nayarit. *Tomás Barrera*. 96 p., 2 láms., 9 planos, 30 fotos. 1931. \$50.00 M.N. o \$5.00 Dlls.
- 52.—Agotado.
- 53.—Topografía sepultada, estructuras iniciales y sedimentación en la región de Santa Rosalía, Baja California. *I. F. Wilson*. 78 p., 1 lám., 11 figs., 3 tablas. 1948. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 54.—Paleontología y estratigrafía del Plioceno de Yepómera, Estado de Chihuahua; Pte. 1—Equidos, excepto *Neohipparion*. *J. F. Lance*. 81 p., 5 láms. 10 figs., 17 cuadros. 1950. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 55.—Los estudios paleobotánicos en México, con un catálogo sistemático de sus plantas fósiles. *Manuel Maldonado-Koerdell*. 72 p., 1950. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 56.—Las provincias geohidrológicas de México; Pte. 1—Agotada; Pte. 2—Síntesis de la hidrología superficial de la República. *Alfonso de la O-Carreño*. 166 p., 8 láms. 2 figs., 5 tablas. 1954. \$30.00 M.N. o \$3.00 Dlls.
- 57.—Espeleología mexicana; cuevas de la Sierra Madre Oriental en la región de Xilitla. *Federico Bonet*. 96 p., 11 láms., 20 fotos, 3 figs., 2 tablas. 1953. \$20.00 M.N. o \$2.00 Dlls.
- 58.—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 fusulinido 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
- 59.—Pte. 1—Los depósitos de bauxita en Haití y Jamaica y posibilidades de que exista bauxita en México. *G. P. Salas*. P. 1-42, 1 lám., 15 figs., 1 tabla. Pte. 2—Exploración en busca de bauxitas en Paso de Acultzingo, Ver., y parte del valle de Tehuacán. *Federico Mooser* y *Odilón Ledezma*. P. 43-51, 1 lám. Pte. 3—Exploración en busca de bauxitas en los límites de los Estados de Puebla y Veracruz. *Federico Mooser*, *Odilón Ledezma* y *Federico Mayer*. P. 53-60, 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 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 Dlls.
- 60.—Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. *Carl Fries, Jr.* 236 p., 24 láms., 4 figs., 1 tabla. 1960. \$40.00 M.N. o \$4.00 Dlls.
- 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 Vírgenes, Mpio. de Santa Rosalía Territorio de Baja California. *Federico Mooser* y *Armando Reyes-Lagos*. P.

- 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 bauxíticas 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-Bárceñas*. 31 p., 12 figs., 1963. \$15.00 M.N. o \$1.50 Dlls. Pte. 3—Sistemática y distribución de los foraminíferos 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. *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 foraminíferos 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, Huitzuc y Mayanacán, 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-Tlalpujahuá, 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 Potosí; 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 Plumosa. *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_2O_3 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.