

23 SET. 1970

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

BOLETIN NUMERO 85

**LOS MINERALES MEXICANOS
7. VANADINITA Y ENDLICHITA**

POR
FRANCISCO J. FABREGAT G.



MEXICO, D. F.
1970

INSTITUTO DE GEOLOGIA

Ciudad Universitaria

México 20, D. F.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

BOLETIN NUMERO 85

**LOS MINERALES MEXICANOS
7. VANADINITA Y ENDLICHITA**

POR

FRANCISCO J. FABREGAT G.



MEXICO, D. F.
1970

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	5
SINOPSIS.....	7
PARTE CRITICA.....	19
Portada.....	19
Nombre.....	20
Etimología.....	26
Sinonimia.....	21
Posición sistemática.....	21
Descubrimiento; primera publicación.....	25
Noticia histórica.....	26
Localidad típica.....	28
Localidades.....	30
Génesis.....	34
Paragénesis.....	35
Asociaciones mineralógicas.....	38
Epigénesis.....	39
Seudomorfismo.....	39
Alteración.....	40
Presencia y hábito.....	40
Formas observadas.....	44
Cristalometría.....	52
Medición de ángulos interfaciales.....	52
Medición de coordenadas esféricas azimutales.....	61
Clase cristalina.....	68
Relación paramétrica.....	69
Matrices M directa y M* recíproca.....	71
Tensores métricos directo e inverso.....	72
El hueco de los cristales de vanadinita.....	72
Maclas.....	76
Alteración de los ángulos por cambios de temperatura.....	77
Cristales artificiales.....	77
Isomorfismo.....	79
Índice de Barker.....	80
Índice de Donnay.....	81
Comportamiento químico.....	82
Análisis por fluorescencia.....	82
Composición química; fórmula.....	82
Densidad.....	90
Fusibilidad.....	94
Dureza.....	94
Tenacidad.....	94



Factura.	94
Exfoliación.	94
Color.	94
Textura zonal.	96
Transparencia.	97
Brillo.	97
Raya o polvo.	97
Propiedades ópticas.	97
Pleocroísmo.	103
Coefficientes de absorción.	103
Diagrama de polvo.	104
Variedades.	113
Endlichita.	113
Cuprovanadinita.	113
Celda elemental.	116
Contenido de la celda elemental.	118
Grupo especial.	119
Previsión de la estructura.	120
Análisis de la estructura.	120
Configuraciones y distancias interatómicas.	122
Comparación de distancias interatómicas con otras estructuras.	123
BIBLIOGRAFIA.	127

- Fig. 1—(Lámina) Cristales de vanadinita
 2—Relaciones sistemáticas de vanadinita y endlichita.
 3—Mapa índice de las localidades mexicanas de vanadinita.
 4—Cristal de vanadinita (Fig. 50 de Hintze, 1924)
 5—Cristal de vanadinita (Fig. 51 de Hintze, 1924)
 6—Cristal de vanadinita (Fig. del Dana's System vol. II (1951)896)
 7—Cristal de vanadinita (Fig. 52 de Hintze, 1924)
 8—Cristal de vanadinita (Fig. 56 de Hintze, 1924)
 9—Cristal de vanadinita (Fig. 57 de Hintze, 1924)
 10—Cristal de vanadinita (Fig. del Dana's System vol. II (1951)896)
 11—Cristal de vanadinita (Fig. de Vrba (1880), citado como fig. 47 por Hintze, 1924)
 12—Cristal de vanadinita (Fig. 2 de Vrba (1880), citado como fig. 48 por Hintze, 1924)
 13—Cristal de vanadinita (Fig. 3 de Vrba (1880),
 14—Cristal de vanadinita (Fig. 4 de Vrba (1880), citado como fig. 49 por Hintze, 1924)
 15—Cristal de vanadinita (Fig. 5 de Vrba (1880)
 16—Cristal de vanadinita (Fig. 11 de Websky (1881), citado como fig. 53 por Hintze (1924) y por Dana's System vol. II (1951)896)
 17—Cristal de vanadinita (Fig. 1 de Penfield(1886), citado como fig. 54 por Hintze, 1924)
 18—Cristal de vanadinita (Fig. 2 de Penfield (1886), citado como fig. 55 por Hintze, 1924)
 19—Cristal de vanadinita (Fig. 1 de Goldschmidt (1900)
 20—Cristal de vanadinita (Fig. 2 de Goldschmidt, 1900)
 21—Cristal de vanadinita (Fig. 3 de Goldschmidt, 1900)
 22—Cristal de vanadinita (Fig. 4 de Goldschmidt, 1900)
 23—Cristal de vanadinita (Fig. 6 de Goldschmidt, 1900)
 24—Cristal de vanadinita (Fig. 5 de Guild, 1911)
 25—Nomonograma de un cristal de vanadinita, según Goldschmidt (1900), fig. 7.
 26—Proyección ortogonal de un extremo de cristal de vanadinita (Penfield, 1886)
 27—Estereograma de un cristal de vanadinita (Schaller, 1905)
 28—Disposición de las caras en los cristales de vanadinita (Goldschmidt, 1900)
 29—Esquema de las dos formas de calcular la relación paramétrica de cristales exagonales.
 30—Estereograma de un grupo de cristales de vanadinita, con macas de penetración.

- 31—Gráfica del análisis fotoespectroscópico por fluorescencia.
 32—Sinópsis gráfica de los índices de refracción determinados por Lietz (1931).
 33—Representación gráfica de los valores promedios de los índices de refracción de vanadinita (Lietz, 1931)
 34—Gráfica del registro fotoespectroscópico por difracción sobre polvo de vanadinita.
 35—Diagrama de Debye obtenido por la difracción sobre polvo de vanadinita.
 36—Cuadro comparativo de los diagramas de polvo obtenidos con vanadinita. (Valores 28 por cuatro centímetros).
 37—Cristal de endlichita (Fig. 1 de Penfield, 1886)
 38—Cristal de endlichita (Fig. 5 de Goldschmidt, 1900)
 39—y 40—Proyecciones de la estructura de una celda elemental de vanadinita. (Trotter y Barnes, 1958).
 41—Proyección de la estructura de vanadinita sobre (00.1), que interpreta los mapas de las figs. 39 y 40 (Trotter y Barnes, 1958)

INTRODUCCION

La vanadinita es una especie mineral interesante. Desde un punto de vista histórico, este vanadato de plomo tuvo un nacimiento muy accidentado, por haber sido descubierto antes que el vanadio. En cambio, su desarrollo ha sido muy armónico: sus etapas de crecimiento se han caracterizado sucesivamente y sin premuras, por los análisis químicos de la sustancia, por las mediciones goniométricas muy concientes, por el estudio preciso de su diagrama de polvo, por la determinación de sus constantes reticulares y finalmente por el análisis de su estructura.

Desde un punto de vista económico, tiene la misma importancia que los otros miembros de su familia sistemática, cual mena de vanadio. Este es un elemento muy abundante en la corteza terrestre, aunque a diferencia con otros, como el hierro, que fácilmente se acumula en concentraciones explotables, éste se diluye dificultando su recuperación: no hay grandes reservas de vanadinita.

Acompañada de wulfenita, tiende a encontrarse particularmente en las partes occidentales del continente americano. Cerca del 95% de V_2O_5 que produce América se emplea en la elaboración de ferrovanadio (0.1 - 0.4% de V). Se usa como estabilizante de hidrocarburos; en ocasiones sustituye al Cr, Mn ó Mo en la industria siderúrgica.

SINOPSIS

FORMULA: $Pb_5 [Cl | (VO_4)_3]$

CRISTALIZACION: Exagonal, hemiedría paramórfica.

Nombre: Vanadinita (v.Kobell, 1838)

Etimología: Vanadis, uno de los sobrenombres de la diosa de la belleza, Freya (mitología escandinava).

Sinonimia: Plomo pardo de Zimapán (Del Río, 1801)

Braunbleierz (Brongniart, 1807), equivalente al anterior.

Zimapanio (Del Río, 1825). Todos estos nombres con primacía sobre el ya generalizado.

Vanadinspath, Vanadinbleispath

Vanadato de plomo.

VARIEDADES: Endlichita (Genth y v.Rath, 1885), arsenical
Curpovanadinita (Janishevsky, 1931), cuprífera.

DESCUBRIMIENTO:

Primera referencia: DEL RIO, Andrés Manuel (1800).- Discursos de las Vetas.

Gazeta de México, supl. 18 nov. 1800 y 12 nov. 1802

Anales de Historia Natural, Madrid, vol.5(1804) 25-38,30-40.

Reseña hirtórica: Descubierta por Andrés Del Río (1801) en un ejemplar de "plomo pardo" de Zimapán, Hgo., México, en el que encuentra por primera vez el vanadio (eritronio). Es redescubierto en Suecia este elemento por Selfström (1830) y von Kobell (1838) da el nombre de vanadinita a la sal de plomo que le había precedido, y cuya síntesis fué intentada por Weinschenk (1890).

Este mineral ha sido objeto de numerosos análisis químicos. En los 25 años que finalizan el s.XIX y comienzan el XX se le sometió a mediciones goniométricas de considerable precisión por Vrba (1880) Penfield (1886) y Schaller (1905), principalmente, Es notable que los dos primeros describen dos caras peculiares que llevan el signo de la meroedría a que pertenecen, confirmada posteriormente por las manchas röntgenográficas existentes.

Smith (1890) supone probables maclas en cristales de vanadinita y Zepharovich plantea el problema de los cristales huecos, que realmente vienen a ser asociaciones biáxicas o paralelas.

En 1885 fue propuesta por Genth y Rath la variedad arsenical, endlichita, con sustitución isomorfa del As al V e incremento subsiguiente de la longitud del eje vertical de vanadinita. No se trata por consiguiente de una especie nueva, sino sólo de una variedad.

Janishevsky descubre la variedad cuprífera de vanadinita.

Durante la primera mitad de este siglo se investiga sobre las propiedades físicas de vanadinita, principalmente sobre sus propiedades ópticas, por Bowman (1903) y más profundamente por Lietz (1931).

Después de 1950 se estudia la celda elemental (Trotter y Barnes, 1958) y la medición e interpretación del diagrama de polvo (Barnes, 1960), trabajos notables por su precisión.

La estructura de esta especie fue prevista por Hendricks, Jefferson y Mosley (1931) y luego calculada por Trotter y Barnes (1958) dadas sus analogías estructurales con la mimetesita.

PRESENCIA Y HABITO:

a) Formas cristalinas: Cristales exagonales, columnares aislados, alargados por el eje c, con caras prismáticas de 1º y 2º órdenes. Algunas veces terminados por pirámides; otras aplanados por el desarrollo de las bases. Sus aspectos van desde cristales aciculares hasta prismas gruesos, rechonchos y algunas veces tabulares.

Ciertos prismas son huecos, que se interpretan como asociaciones paralelas de varios prismas sencillos.

Caras lisas, brillantes. Algunas veces estriadas y otras curvadas dando a los prismas aspecto toneliforme (estas caras se interpretan como la asociación de varias prismáticas muy agudas).

Por lo general, de 1 a 5 mm de longitud, aunque son cristales de dimensiones muy variables.

b) Agregaciones: granos; cristales redondeados; manojos estelares; diseminados sobre calcita (con descloizita) y sobre wad de manganeso. Costras botrioides, reniformes, fasciculares y esférulas radiadas con superficie erizada. Geodas.

Recubrimientos sobre cuarzo, cobre, piromorfita; incrustaciones.

Masa granudas a colores rojos, pardos y amarillos.

FORMAS OBSERVADAS: Las caras más comunes: m(10*0), x(10*1), c(00*1) y (20*1), a (11*0), μ (21*1).

Las demás son peculiares a ciertas localidades. Las caras η (21*0) y μ (21*1) se tomaron como indicadoras de la hemiedría (paramórfica) a que pertenece el cristal.

Hintze agrupa como formas más seguras,

Base

Prismas de 1º y de 2º órdenes

4 prismas de 3º orden

22 bipirámides de 1º orden

4 bipirámides de 2º orden

6 bipirámides de 3º orden

2 bipirámides hemimórficas

EPIGENESIS:

Intercrecimientos: en calcita, descloizita, piromorfita.

Epicrecimientos: cuarzo (endlichita en drusas de cuarzo) cuarzo y galena argentífera.

calcita

descloizita; así como su inverso, descloizita sobre vanadinita y odargirita.

Relleno de cristales columnares: vanadinita, descloizita.

Recubrimiento de cristales por descloizita.

CRISTALOMETRIA: Son notables las mediciones goniométricas de que ha sido objeto el cristal de vanadinita. Distínguense dos etapas, cuyo objeto fue la determinación de

a) ángulos interfaciales: por mediciones de Vrba (1880), Websky (1881) y Penfield (1886).

b) coordenadas esféricas azimutales: por determinaciones de Goldschmidt-Schaller (1900-1905).

Los valores, según determinaciones actuales (Fabregat, 1967):

Caras	φ (11*0)	π (00*1)
c (00*1)	—	0°00'00"
m(10*0)	30°00'00"	90°00'00"
a (11*0)	0°00'00"	90°00'00"
h (21*0)	10°53'36"	90°00'00"

continua

r (10*2)	30°00'00"	22°19'23"
x (10*1)	30°00'00"	39°23'35"
y (20*1)	30°00'00"	58°39'52"
q (50*2)	30°00'00"	64°01'47"
z (30*1)	30°00'00"	67°54'26"
v (11*2)	0°00'00"	35°25'11"
s (11*1)	0°00'00"	54°53'27"
μ (21*1)	10°53'36"	65°17'07"
δ (10*3)	30°00'00"	15°18'31"
g (31*0)	16°06'07"	90°00'00"
f (51*0)	21°03'06"	90°00'00"
δ (50*4)	30°00'00"	45°44'58"
γ (40*3)	30°00'00"	47°35'41"
α (30*2)	30°00'00"	50°55'47"
β (50*3)	30°00'00"	53°50'49"
ε (41*4)	19°06'23"	43°15'11"
e (32*3)	6°35'12"	50°02'02"
l (32*2)	6°35'12"	60°48'24"
t (52*2)	13°53'52"	68°41'42"
p (41*2)	19°06'23"	62°00'40"
k (30*4)	30°00'00"	31°37'44"
i (21*2)	10°53'36"	47°22'12"
η (40*1)	30°00'00"	73°04'05"
d (53*0)	8°12'47"	90°00'00"
o (70*6)	30°00'00"	43°46'24"
u (70*5)	30°00'00"	48°58'59"
A (70*4)	30°00'00"	55°10'05"
H (70*2)	30°00'00"	70°48'58"

Relación paramétrica:

$$c_o : a_o = 0.711186$$

Clase y grupo espacial: Exagonal, hemiedría paramórfica

Matrices M y M* ; G y G⁻¹

Admitidas las dimensiones de la celda exagonal

$$a_o = 10.325 \text{ A} ; \quad c_o = 7.734 \text{ A} ; \quad c/a_o = 0.711186$$

resultan:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.866050 & 0 \\ 0 & 0 & 0.711186 \end{bmatrix} \quad M^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.577350 & 1.154701 & 0 \\ 0 & 0 & 1.406101 \end{bmatrix}$$

y sus tensores métricos,

$$G = \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & 0 \\ -0.5 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.505786 \end{bmatrix} \quad G^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -0.5 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1.482842 \end{bmatrix}$$

Maclas: Citadas, aunque inseguras, según (10*0), y polisintéticas según (00*1).

El hueco de los cristales de vanadinita: se ha demostrado como resultante de repetidas asociaciones prismáticas uniáxicas.

Cristales artificiales: Lietz (1031) trató vanadato de Pb con exceso de cloruro de Pb en horno eléctrico a 900°, hasta fusión; luego a 700° durante 2 horas. Siguió enfriamiento lento.

Isomorfismo: Existe la serie isomorfa de las especies hemiedricas paramórficas exagonales del grupo del apatito $C_{6h}^2 - P 6_3/m - H_4^2$ con Z=2.

Forman series de soluciones sólidas la mimetesita, piromorfita y Vanadinita, de las que son miembros: poliesferita, kampilita, hedyfanita y endlichita.

Hay otros minerales que se tienen por isomorfos con los anteriores,

aunque no todos ellos son del mismo grupo, siendo por lo tanto falsamente isomorfos (por la apreciación insegura de su simetría): voelkerita, wilkeita, dahlita, podolita, staffelita (=francolita,=Merrillita), collofanita (=piroganita,=somburita,=monita,=fluocollofanita,=dehrnita,=lewistonita).

Seudomorfismo: De vanadinita hacia siderita, anglesita, descloizita. Se presenta también la relación inversa: pseudomorfismo de descloizita hacia vanadinita.

Índice de Barker: H.329 Sin transformación

c:o = (00*1 : 10*1) = 39°23'35"

Índice de Donnay:

VANADINITA: Exagonal, hemiedría paramórfica.

c/a	a	c	Gr.esp.	Tip.estr.	D e n s i d a d	
					obs.	calc.
0.7111	10.32	7.73	P 6 ₃ /m 2	H 5 ₇	6.914	6.936
Pb ₅ [Cl | (VO ₄) ₃]						

COMPORTAMIENTO QUIMICO: Insoluble en agua; en HCl forma cloruro de Pb y solución verde; en HNO₃ solución amarilla.

Al carbón, decrepita, Con soplete, esfera plomo metálico y pegadura de cloruro de plomo.

Con la perla, coloración amarilla en caliente y verde amarilla en frío (vanadio).

Reacciones microquímicas: No se han llegado a establecer para el V de una manera segura y definitiva.

Análisis por fluorescencia: Radiación WK_α, 45kV, 20mA, Cristal CINA Tubo centelleo 2- 2 - 1. — Resultaron como elementos principales Pb, V; y accesorio el Cu.

Composición química, fórmula: El análisis calculado,

	Cl	V O	PbO	O-Cl	
Hintze (1924) (XXXIII)	2.50	19.33	78.17	-	(VO ₄) ₃ ClPb ₅
Dana 1951) (XXXIV)	2.50	19.26	78.80	0.56	Pb ₅ (VO ₄) ₃ Cl

La fórmula admitida es : Pb₅ [Cl | (VO₄)₃]

Con sustituciones isomorfas: V por P (P:V=1:4.7); V por As (As:V=1:1)

Cl por OH ; Pb por Ca, Zn, Cu, Fe"

Densidad: observada: 6.914 (6.786 - 7.027)

Calculada: 6.9360

Fusibilidad: 1.5 (v.Kobell)

Dureza: 2.5 - 3.0 (Mohs)

Tenacidad: Cristales frágiles.

Flexibilidad: Cristales no flexibles.

Fractura: Irregular a conoidea.

Exfoliación: no

Color: Gris, pardo gris, pardo chocolate, pardo rojizo, rojo a rubí, rojo anaranjado, amarillo cera, amarillo miel, blanco amarillento.

Textura zonal: rojo claro a oscuro.

Transparencia: Cristales traslúcidos a opacos.

Brillo: Mate, craso, vítreo, adamantino, resinoso.

Empañadura: ninguna.

Raya o polvo: Blanco o amarillento.

Propiedades ópticas: Por extrapolación gráfica de los índices observados;

λ	ω	ϵ	Δ
450	2.580	2.480	- 100
575	2.420	2,360	- 60
675	2.378	2.315	- 63

Uniaxial (-) $2E = 14^\circ$; $2V = 3^\circ - 7^\circ$

Pleocroísmo: ϵ (amarillo parduzco) ω (rojo parduzco a anaranjado).

Nótase incremento de refringencia y de birrefringencia al pasar de fosfato a arseniato y a vanadato (pesos moleculares crecientes):

	Piromorfita	—	Vanadinita	—	Mimetesita
Pes.atom:	35.46		50.95		74.93

Coefficientes de absorción:

Radiación	μ^*	μ	
Mo	106.4	735.6	* abs. de masa
Zn	171.6	1186.4	
Cu	205.0	1417.3	
Ni	249.9	1727.8	
Co	302.5	2091.5	μ^* abs. de masa
Fe	367.7	2542.2	μ abs. lineal
Mn	430.9	2979.2	
Cr	448.6	3101.6	

Diagrama de polvo: $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,54178$), cámara 114.59 mm.

	<u>2.9772</u>	<u>3.0634</u>	<u>3.3657</u>
	100	85	60
<u>I/I.</u>	<u>d</u>	<u>Símb.</u>	
15	5.1578	11*0	
30	4.4682	20*0	
40	4.2159	11*1	
10	3.8107	20*1	
15	3.6515	00*2	
60	3.3657	21*0	
85	3.0634	21*1	
100	2.9772	30*0	
12	2.3118	30*2	
15	2.2094	11*3	
35	2.0961	22*2	
30	2.0486	32*0	
40	1.9773	32*1	
30	1.9517	41*0	
35	1.8937	30*3	
20	1.8253	00*4	
5	1.7849	50*0	
10	1.7210	33*0	
10	1.6673	33*1	
20	1.6044	51*0	
20	1.5580	33*2	
12	1.4011	—	
6	1.3786	—	
7	1.3502	—	
20	1.3326	—	

continua

6	1.2895	—
5	1.2382	—
10	1.2063	—
10	1.1926	—

Celda elemental:

Dimensiones: $a_o = 10.325$; $c_o = 7.343$; $c_o/a_o = 0.711186$

$$\gamma = 120^\circ$$

$$V = 677,929107 \text{ \AA}^3$$

$a^* = 0.111835$; $c^* = 0.136184$; $c^*/a^* = 1.217722$

$$\gamma^* = 60^\circ$$

$$V^* = 0.001475$$

Contenido: $z = 2$

Grupo espacial: $C_{6h}^2 - P 6_3/m - H_4^2$ de la hemiedría exagonal paramórfica.

Estructura: Con la hipótesis de su isomorfismo con mimetesita, se calcularon:

Atomos	x	y	z
Pb (I)	0.33333	0.66666	0.0054
Pb(II)	0.2558	0.0107	0.25
V	0.4046	0.3787	0.25
Cl	0	0	0
O (I)	0.3309	0.5005	0.25
O (II)	0.6006	0.4604	0.25
O(III)	0.3812	0.2873	0.0463

Coeficiente exactitud 0.12 — 0.16

Posición sistemática: Es un vértice del triángulo:

Piomorfita (PO_4) — Vanadinita (VO_4) — Mimetesita (AsO_4) con el que termina el grupo complejo del apatito.

Las relaciones sistemáticas de este triángulo con el resto del grupo parecen menos estables.

Variedades:

ENDLICHITA (Vanadinita arsenical).

Blanco amarillento, amarillo paja.

Cristales brillantes con estriaciones transversas.

La presencia de As_2O_5 (2%) tiende a incrementar la longitud del eje c y disminuir índices de refracción.

Se tiene como mezcla isomorfa de mimetesita y vanadinita.

CUPROVANADINITA (Vanadinita cúprica, con CuO 1.5%)

Localidad típica: Del Río estudia un ejemplar proveniente de Zimapán, Hgo., aunque no se precisa el lugar. Sus historiadores designan la mina La Purísima, de El Cardonal, Hgo., que deja el problema en incógnita, aunque no quiera decirse que se excluye la localidad como posible pues hay en ella otras varias minas de vanadinita.

Localidades mexicanas: ver el texto, pág. 30

Localidades extranjeras: ver el texto, pág. 31 y s.s.

Paragénesis: El yacimiento mexicano más importante es el de la Sierra de Los Los Lamentos, en Villa Ahumada, Chih.

En región semidesértica, formada por calizas cretácicas grises. Bajo un manto con cerusita, argentita y galena, se encuentran en su parte profunda vanadinita, wulfenita, azufre, hematita, calcita, yeso, hidrozincita, jarosita y ocres.

También se le halla en otras localidades, en vetas en el granito.

Asociaciones mineralógicas: La asociación dominante es con minerales de plomo y principalmente con galena (si bien nunca sobre ella), descloizita, aunque también se la ha encontrado ligada a otras especies:

- con minerales de Pb: piromorfita, mimetesita, descloizita, mottramita, wulfenita, cerusita, plattnerita, anglesita, minio, massicot.
- con minerales de Fe: limonita.
- con minerales de Cu: cuprodescloizita, volbortita (?)
- con minerales de Zn: calamina, hopeíta.
- con minerales de Mn: pirolusita, wad.
- con minerales de Ca: calcita, aragonito, fluorita.
- con minerales de Mg: dolomitas.
- con yacimientos de Au: vetas de cuarzo aurífero con Pb y Cu

Génesis: Alteración de sulfuros y silicatos de vanadio, por reacciones poco conocidas. Se admite a la vanadinita como mineral secundario de oxidación de los depósitos de plomo, zonas superiores.

Alteración: por intemperismo, da ocre de vanadio.

Minerales análogos: piromorfita, mimetesita y con los demás de su serie isomorfa. (Cf.)

PARTE CRITICA

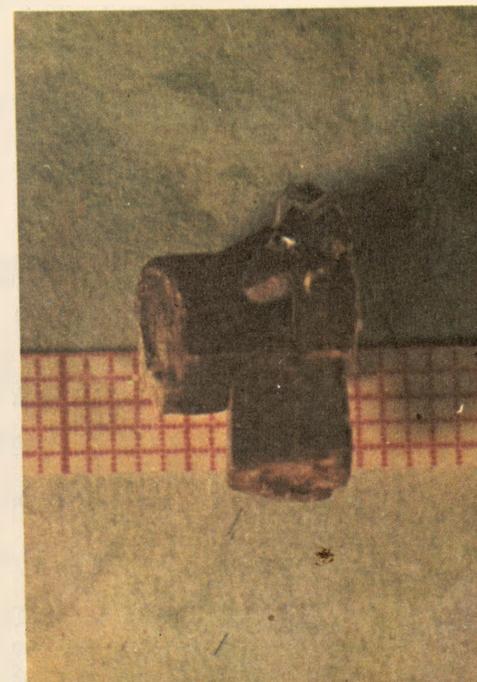
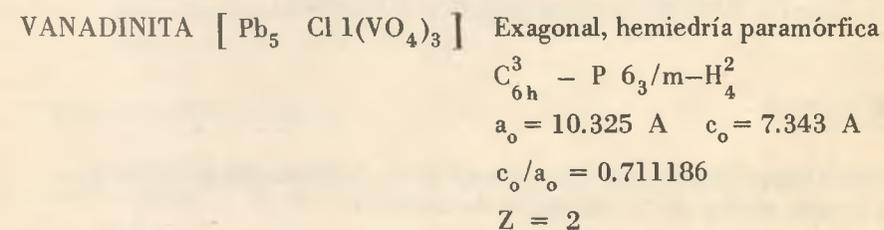
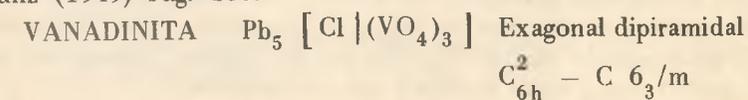


Fig. 1—(Lámina) Cristales de vanadinita



Strunz (1949) Pág. 166.



$$a_o = 10.47 \text{ \AA} \quad c_o = 0.710 \text{ \AA}$$

$$c_o/a_o = 0.710$$

$$Z = 2$$

Hintze (1924). Vol. I, 4^o parte, 1^a mitad, pág. 608.



Exagonal dipiramidal

$$a : c = 1 : 0.71218 \text{ (Vrba).}$$

Dana (1951) vol. II, pág. 895.



Exagonal dipiramidal 6/m

$$C \ 6_3/m$$

$$a : c = 1 : 0.7122$$

$$a_o = 10.31 \text{ kX} \quad c_o = 7.34 \text{ kX}$$

$$a_o/c_o = 1 : 0.712$$

$$Z = 2$$

NOMBRE

VANADINITA (Kobell, 1838)*

La primacía de nombres corresponde estrictamente a la apelación plomo pardo de Zimapán (Del Río, 1801), si bien no siendo éste mineralógico, debería tener el de zimapanio (Del Río, 1825)

ETIMOLOGIA

VANADIS (Selfström, 1830), uno de los sobrenombres de la diosa de la belleza Freya, de la mitología escandinava.

Andrés Del Río hace la crítica del apelativo vanadio dado a su elemento descubierto: no encuentra justificado se le llame con el apodo de una diosa fenoscándica, cuando el nombre de eritronio se refiere a una propiedad importante del elemento cual es el color de sus óxidos. Empero así ha prevalecido por el uso y debe aceptarse por prescripción.

SINONIMIA

Plomo pardo de Zimapán (Del Río, 1801), por el color chocolate de las incrustaciones.

Zimapanio (Del Río, 1825), de Zimapán, Est. Hidalgo, México.

Cromato de plomo pardo (Collet-Desclotis, 1805), erróneo.

Braunbleierz (Brongniart, 1807), en realidad es sólo la traducción del primero.

Vanadinbleierz (Rose, 1833)

Vanadinita (Kobell, 1838)

Vanadinspath

Vanadinbleispath

Vanadinsaures Blei

Vanadato de plomo

Endlichita (Genth y vom Rath, 1885). Endlich era superintendente de las minas Sierra Grande, Lake Valley, Nuevo México, cuando Genth y Rath estudiaron la variedad.

Cuprovanadinita (Janishevsky, 1931). No se trata de la mal llamada curpovanadita (=chileíta) de Adam, que es un intercrecimiento de plata y cuprita (Short, 1949).

POSICION SISTEMATICA

Los principales criterios de colocación sistemática de la vanadinita se pueden colegir de las siguientes citas tomadas respectivamente de:

Hintze, Vol. I, 4^o parte, 1^a mitad, pág. 608 (vanadinita)

CLASE: Fosfatos, arseniatos, antimoniatos, vanadatos, niobiatos y tantalatos.

B. Fosfatos, arseniatos y vanadatos con halógeno: anhidos.

I. Grupo: sales $[(\text{RO}_4)_3 \text{ X Me}_5]$

1. Apatito
2. Piromorfita
 - 2a. Poliesferita
3. Mimetesita
 - 3a. Kampilita
 - 3b. Hedifanita
 - 3c. Pleoneckita
 - 3d. Svabita
 - 3e. Fermontita
4. VANADINITA
 - 4a. Endlichita
 - 4b. Rodofosfita

Dana (1957), vol. II,

Fosfatos, arseniatos y vanadatos. Las unidades estructurales aniónicas son tetraedros $(XO_4)^3$; X = P, As, V.

Frecuentes series de sustitución entre P y As, As y V; menos común entre P y V.

CLASE 41. Fosfatos etc., anhídros, con hidroxilo o halógeno.

Tipo 7. $A_5(XO_4)_3Z$

41.7.1 Serie apatito

41.7.2 Serie piromorfita

41.7.2.1 Piromorfita $Pb_5(PO_4)_3 Cl$

41.7.2.2 Mimetita $Pb_5(PO_4)_3 Cl$

41.7.2.3 Vanadinita $Pb_5(PO_4)_3 Cl$

Endlichita (sust. de V por As)

41.7.3 Serie Svabita

La serie piromorfita con Pb y Cl; sustituciones V, As, P.

Strunz (1949), pág. 166

CLASE VII : Fosfatos (arseniatos, Vanadatos).

B. Fosfatos arseniatos y vanadatos con aniones extraños.

- con cationes medianos
- con cationes grandes y chicos
- con cationes muy grandes

13. Grupo del apatito. Exagonal paramórfico $C_{6h}^2 - C 6_3/m$
 $Z = 2$ H_4^2

Apatito $Ca_5 [(F,OH,Cl) | (PO_4)_3]$

Fluorapatito

Dehrnita

Lewistonita

Clorapatito

Hidroxilapatito

Manganoapatito

Manganohidroxilapatito

Manganoxiapatito (Mn-voelkerita)

Oxiapatito (Voelkerita)

Abukumalita $(Y,ThCa)_5 (F,O) | (SiO_4,PO_4,AlO_4)_3$

Fermontita (Sr-As- apatito)

Wilkeíta $Ca_5 [(F,O) | (PO_4,SiO_4, SO_4)_3]$

Ellestadita $Ca_5 [OH | (SiO_4, SO_4)_3]$

Britholita $(Na,Ce,Ca)_5 [F | (SiO_4,PO_4)_3]$

Francolita $Ca_5 [(F,OH,O,CO_3) | (PO_4,CO_4)_3]$

Dahlita (= oxifrancolita)

Svabita $Ca_5 [F | (AsO_4)_3]$

Piromorfita $Pb_5 [Cl | (PO_4)_3]$

Polysphaerita (Ca-piromorfita)

Kampilita (P-mimetesita)

Mimetesita $Pb_5 [C | (AsO_4)_3]$

Hedifanita (Ca-Ba-Mimetesita)

Vanadinita $Pb_5 [Cl | (VO_4)_3]$

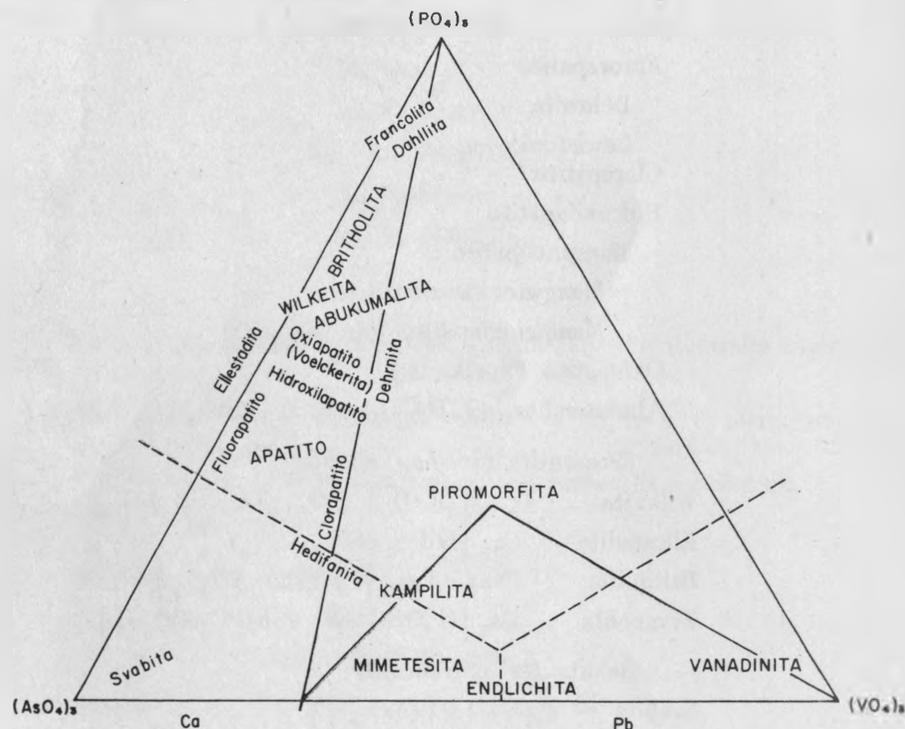
Endlichita (As-vanadinita)

Cuprovanadinita (Cu-vanadinita)



El grupo del apatito es una unidad sistemáticamente gigante, y por la cantidad de minerales que abarca da la impresión de poco elaborado.

Lietz (1931 y Hendricks, Jefferson y Mosley (1932) estudian la relación estructural de algunos de sus términos, llegando a establecer tres especies minerales cardinales: PIROMORFITA, MIMETESITA y VANADINITA, mutuamente isomorfas e isotípicas, que forman entre sí sendas series de soluciones sólidas: entre las dos primeras se encuentran la kampilita; entre las dos últimas, la endlichita.



2-Relaciones sistemáticas de vanadinita y endlichita.

Conformes con la afirmación de Strunz (1949), son todas ellas de la hemiedría paramórfica del exagonal, con sus relaciones paramétricas muy semejantes y sus fórmulas análogas.

De las mediciones ópticas se halla un incremento de refringencia y de birrefringencia en su paso de los grupos fosfato -arseniato - vanadato.

Si los compuestos del grupo espacial se ordenasen por el peso atómico creciente de los elementos vicariantes, se obtendría la serie,

	Piromorfita	Vanadinita	Mimetesita
	(PO ₄)	(VO ₄)	(AsO ₄)
Pes. atom.	35.46	50.95	74.93

En el triángulo de composición de la fig. 2 se pueden observar las relaciones de afinidad de todos los miembros del grupo, ampliando sus sustituciones catiónicas con referencia al Ca y al Pb, lo cual hace descender y tender hacia su derecha el centro de gravedad del triángulo aniónico puro. Del examen de este esquema se desprende la necesidad de separar en otros grupos autónomos el que hasta ahora se admite como único: desde luego, los de uno y otro lado de la línea límite Ca-Pb; después la del área de las "especies cardinales", mediante atento estudio del comportamiento de los términos intermedios en sus respectivas series isomorfas.

DESCUBRIMIENTO.

La vanadinita fue descubierta en 1801 por Andrés Del Río, en una muestra proveniente de Zimapán, Est. de Hidalgo, México.

Primera publicación:

Andrés M. Del Río.— Discursos de las Vetas.

La Gaceta de México (12 nov. 1801)

Le da el nombre de Zimapanio en

Andrés M. Del Río.— Del Zimapanio

La Revista Mexicana (junio-julio, 1835), vol. 1, No. 2, pág. 183-5

ANDRES MANUEL DEL RIO nació en Madrid (1764) y falleció en México (1849) a los 85 años, habiendo dedicado toda la actividad de su vida a nuestro País.

Fue discípulo de Werner (1787) y con el acúmulo de conocimientos mineralógicos y específicamente mineros que logró almacenar durante sus años de estudios por Europa, llegó al País a los 30 años, como primer Profesor de Mineralogía en el Real Seminario de Minería, recién fundado en la Capital. El primer curso comenzó en 17 de abril de 1795.

Tradujo para sus clases las Tablas Mineralógicas de Karsten, con el sistema de Werner modificado; escribió un tratado de Mineralogía en dos tomos, Orictognosia (vol.I,(1795); vol. II (1805); más tarde (1827) se imprimió el "Nuevo sistema Mineralógico de Berzelius". Describió el método del patio o de amalgamación para el beneficio de los minerales de plata y oro (Diario de Farmacia, Paris (1830), así como su traducción que se publicó en Filadelfia (1831).

Descubrió la vanadinita en un ejemplar de "plomo pardo" de Zimapán, Hgo., llamándolo Zimapanio (La Revista Mexicana, junio-julio, 1825).

y las Tablas Mineralógicas de Karsten (1802) pág. 61, unos 29 años antes de que se descubriera el vanadio en Europa, al que el español Ramos de Quadra (1803) llamó pancromo y luego el mismo Andrés Del Río el de eritronio, por la propiedad de sus sales de enrojecer por los ácidos y por el calor. (Angel y Scharizer, 1885). Aunque publicado su hallazgo en la Gaceta de México (12 nov. 1802) de difusión local, en los Anales de ciencias naturales, Madrid, cuaderno 19 (1804) y en las Tablas Mineralógicas (op.cit.), confió vanamente en Humboldt, su antiguo condiscípulo, para la difusión de su trabajo por el Viejo Mundo europeo; si bien Humboldt y Bonpland dieron noticia del eritronio en 21 de junio 1903 a la Academia de ciencias de París, noticia que fue publicada asimismo en los Anales Gilbert o Ann. Poggendorff (Ann. der Physik und Chemie).

No obstante, al tener la desgracia de comentar su descubrimiento con Humboldt, a la sazón en visita por México, y dado que hacía 4 años que Vauquelin acababa de descubrir (1797) el cromo en un cromato de plomo de Siberia, al que llamó "plomo rojo", y que suponía aquel de su conocimiento, le hizo dudar un tiempo de que su eritronio fuese en realidad cromo. Esta perplejidad fue corroborada por el falso análisis efectuado por Collet Desclotís, quien le comunicó desde París tener la muestra de zimapanio como cromato.

En 1830 redescubre Selfström el eritronio al analizar unas muestras de Faber Joenkoepping, Ekerholmen, Tarberg, Suecia, llamándolo vanadio. Inútilmente demostró Woehler a los pocos meses que el tal vanadio era el mismo elemento encontrado por Del Río en el "plomo pardo" de Zimapán (Briefwechsel Justus von Liebig und Friedrich Wöhler's: Brief 2. Januar 1831.— Ann. Poggendorff (1831). Tampoco tuvo éxito la propuesta de Featherstonhaugh desde Filadelfia para que el nuevo elemento se llamase rionio: ha prevalecido la denominación impuesta por el químico sueco.

El vanadio fue obtenido químicamente puro por aluminoternia en mezcla de cerita e itriocerita, mucho más tarde, por Weiss y Aichel.

Del Río descubrió también otras especies minerales: el sulfuro de manganeso como "plata azul" de Catorce (Gaceta de México, 12 nov. 1802) y el "biseleniuro de zinc" de Culebras (de Hg y Cd) para el que Brooke propuso los nombres de riolita o rionita.

NOTICIA HISTORICA

La vanadinita fue descubierta por A. del Río en 1801, en un ejemplar de "plomo pardo" de Zimapán, al que luego dió el nombre de Zimapanio

(La Revista Mexicana, junio—julio (1825), mucho antes de que se conociera el nuevo elemento como vanadio, y que le dió ocasión para su descubrimiento con el nombre de eritronio.

El análisis que hizo de su muestra dió una composición de 80.72 de óxido amarillo de Pb, 14.80% del nuevo eritronio, óxidos de Pb, de Fe y algo de As.

Remitió parte de la muestra al Instituto de Francia para ser analizada por Collet—Desclotís, quien erróneamente la tuvo por cromato de plomo:

PbO	74.2 %
Fe ₂ O ₃	3.5
CrO ₃	16.0
HCl	1.5

publicándolo así en los Ann. de Chimie et de Physique (1805) con el falso nombre de cromato de plomo pardo.

Brongniart (1807) le da también el nombre de Braunbleierz, traduciendo el original de Del Río, y quizás con cierta influencia del último análisis.

Wöhler (Arslev, (1831)204), demostró poco después del redescubrimiento del vanadio, que el zimapanio era un vanadato de plomo.

Por esos mismos tiempos de la afirmación de Wöhler halló Johnston vanadinita en Wanlockbead, Escocia y Rose (1829) la reconoció en el mineral de Berjosowsk, tenido hasta entonces como de promortita. Rose (1833) la llamó Vanadinbleierz, y Kobell (1838) le cambió el nombre por el de vanadinita.

Rammelsberg (1856) expone su isomorfismo con piromorfita y mimetesita.

Los varios análisis químicos de que ha sido objeto se distribuyen a lo largo del siglo y medio de estudios que se le han hecho. (Cf.pág.) 82.)

En 1890 intenta Weinschenk la síntesis de los cristales de vanadinita. Durante un período de 25 años (entre 1880 y 1905) con los que se termina el siglo pasado, se realizaron las mediciones goniométricas de im-

portancia. Vrba (1880) fué de los primeros en medir sistemáticamente unos cristales austriacos. Websky (1881), Schabus (1857), Groth (1908) Wagner y Marchand (1921) también estudian los cristales en el goniómetro y calculan la relación paramétrica. Pendfield (1886) confirma los valores hallados y añade la posición de nuevas caras que descubre en cristales de Arizona y Nuevo México. Este autor encuentra la relación entre algunas formas merodétricas y la presencia de apatito entre cristales de vanadinita. Goldschmidt (1900) efectúa una medición muy precisa sobre cristales que él tiene como de endlichita. Finalmente, Schaller (1905) da la lista goniométrica más precisa que todas las obtenidas, pudiéndose considerar como solucionado definitivamente el problema.

Smith en 1890 cita sus maclas probables (drillinge), y Eissner (1903) hace un estudio sobre la alteración de los diedros bajo la influencia de un incremento de temperatura.

En 1885 fue propuesta por Genth y Rath la variedad arsenical de la vanadinita, llamada endlichita. Por los análisis y mediciones de Penfield (1880) y de Guild (1911) se deduce que la vanadinita puede contener As_2O_5 en sustitución isomorfa hasta cierto límite, a partir del cual ya se la tiene como la variedad endlichita. El efecto del As es incrementar la longitud del eje vertical de vanadinita. En 1931 halla Yanishevsky otra variedad de vanadinita, la cuprovanadinita.

Durante la primera mitad de este siglo se investiga sobre las propiedades físicas del mineral: su densidad por Groth (1908), Wagner y Marchand (1903), etc. La estimación de las propiedades ópticas se inicia por Bowman (1903) quien hace una determinación exacta de los índices de refracción y birrefringencia (considera la vanadinita y la endlichita como especies diferentes completada por Lietz (1931).

Después de 1950 se estudia la celda elemental (Thother y Barnes, 1958), cuyos datos son confirmados por Barnes 12 años más tarde, a partir del diagrama de polvo, medición digna de mencionarse por su exactitud y precauciones tomadas.

Una hipótesis de estructura fue emitida por Hendricks, Jefferson y Mosley (1931) con base en su parecido con el apatito, hasta que es calculada directamente por Trotter y Barnes (1958) teniendo en cuenta las analogías estructurales con los otros minerales del grupo.

LOCALIDAD TÍPICA

La vanadinita fue primeramente mencionada como existente en Zimapán, Hg. (Del Río, 1802, 1825). Las muestras provenían probablemente de la mina de Guadalupe, en donde se encontró mimetesita y piromorfita. Mapes y Simmons (1957) no las hallaron allí sino en el mineral oxidado de la mina Dolores.

De acuerdo con los residentes del lugar, se encontró la vanadinita en el depósito de San Damián de la mina Lomo de Toro. Las paredes del rebaje de San Damián están actualmente cubiertas por una capa gruesa de lodo, como resultado de inundación en el año 1943, que oculta a la vanadinita. Mapes y Simmons (1957) no la hallaron en ninguna otra localidad, durante los trabajos de reconocimiento que efectuaron para redactar su informe sobre la Geología y Yacimientos minerales de Zimapán, Hgo., y eso después de poner especial diligencia por encontrar vanadinita.

Al anunciar Del Río el descubrimiento de su nueva especie mineral no especifica más pormenores que provenir de Zimapán. Sus historiadores (Arnaiz y Freg, Carrera Stampa, . . .) determinan su origen de la mina La Purísima, de El Cardonal, Estado de Hidalgo, aunque sin demostrar su afirmación. Es de hacer notar que en la obra de Simmons y Mapes (1957) no se habla de esa localidad por ser otro distrito minero adyacente, a menos que esos historiadores se piensen referir a ella por la mina Concepción, de la zona minera del Monte.

La roca encajonante de esta última localidad es caliza del Cretácico Inferior, con fuerte inclinación hacia el NE. Los pocos pilares dejados en el rebaje principal parecen ser de calcita pura, con poco o nada de sulfuros. Hay arseniopirita, una pequeña bolsa de cerusita, y algo de galena en delgado ramaleo a lo largo de la estratificación de la caliza. No hay menas a la vista.

Sin embargo de esta última cita, la mina La Purísima no pertenece hoy en día al distrito minero de Zimapán, sino al de El Cardonal (al SE de Zimapán, en el mismo Estado de Hidalgo), que por aquellos tiempos se tenía por uno solo.

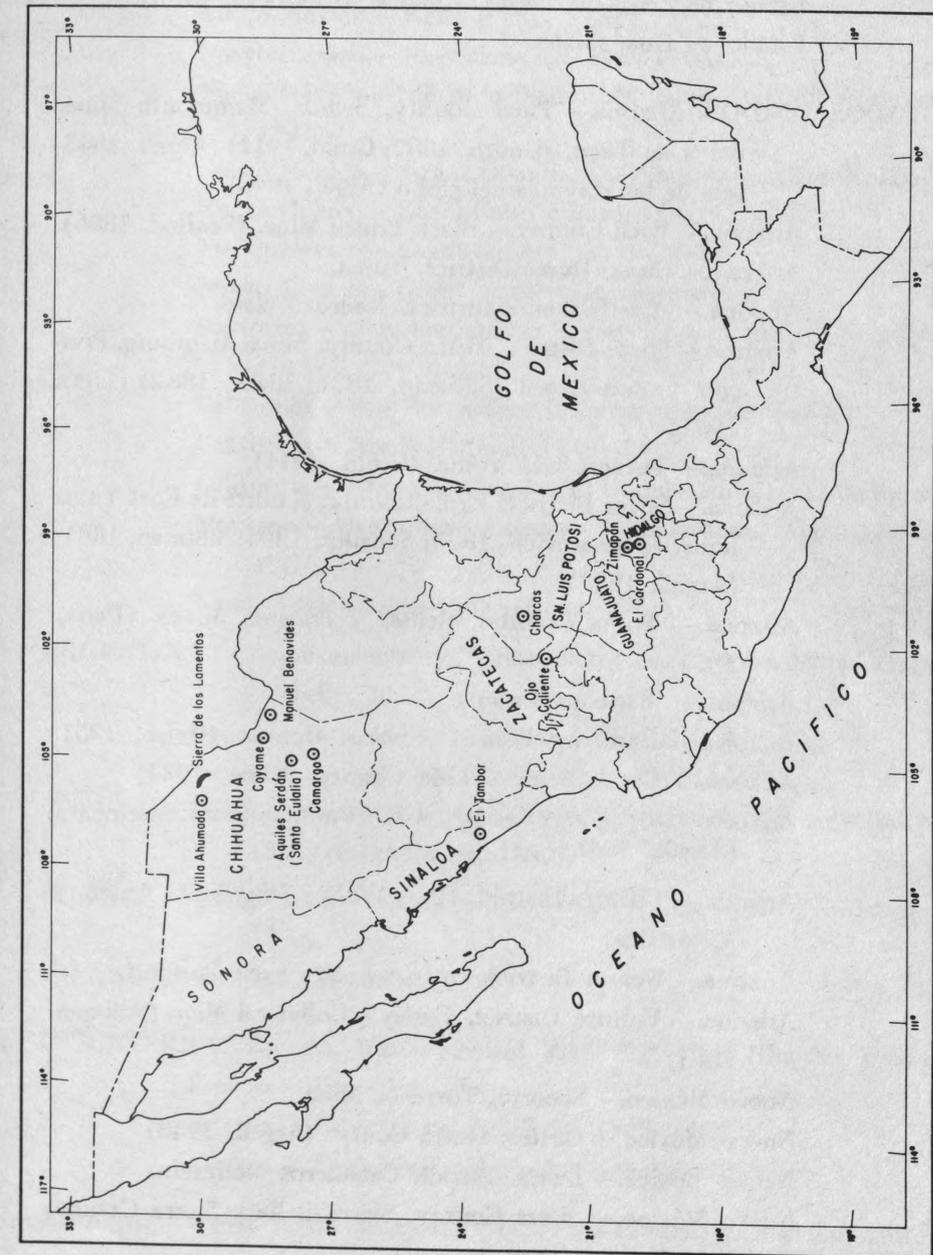
Por la incertidumbre en la designación del yacimiento típico, no se entra aquí en su descripción geológica, limitándonos a recomendar el trabajo de Simmons y Mapes (1957) a quienes deseasen más informes sobre Zimapán.

De entre todas las localidades mexicanas que se mencionan como depósitos de vanadinita, parece ser que la de Sierra de Los Lamentos, Municipio de Villa Ahumada, es de las más importantes. La Sierra de Los Lamentos se encuentra aislada, en dirección E-W, en llanuras semi-desérticas al oriente

del Estado de Chihuahua, desprovista de vegetación. Está formada por calizas cretácicas de color gris, con estratificación inclinada de 15° a 22° al NE. Los minerales se presentan en forma de mantos que siguen los planos de estratificación. El manto principal aflora en las faldas del extremo S de la sierra. Las especies encontradas en la parte superior del manto son cerusita, argentita y galena; en su parte profunda vanadinita, wulfenita, azufre, hematita, calcita, yeso, hidrozincita, jarosita y ocras.

LOCALIDADES

- MEXICO. Estado de Hidalgo.— Dto. minero de Zimapán. Mina Dolores
 Estado de Hidalgo.— Dto. minero de Zimapán. Mina Lomo de Toro, Depósito de San Damián. (Del Río, 1801)
 Estado de Hidalgo.— Dto. minero de El Cardonal. Mina de la Purísima.
 Estado de Chihuahua.— Municipio de Villa Ahumada.— Sierra de Los Lamentos. Minas La Erupción y Ahumada.
 Esta es una de las localidades mexicanas más notables en vanadinita. Se halla en las partes profundas de un manto de calizas cretácicas.
 Estado de Chihuahua.— Municipio Manuel Benavides.— Mineral de San Carlos.
 Estado de Chihuahua.— Dto. de Iturbide. Municipio Sta. Eulalia Buena Tierra, Mina Sto. Domingo.
 Estado de Chihuahua.— Municipio Camargo. Villa Rosales. Mina San Francisquito.
 Estado de Chihuahua.— Municipio Aquiles Serdán. Mina Sto. Domingo.
 Estado de Chihuahua.— Municipio de Coyame. Cuchillo Parado. Mina La Aurora.
 Estado de Zacatecas.— Municipio Ojo Caliente. Rancho de Encinillas.
 Estado de Sinaloa.— Dto. minero El Tambor (Varias minas).
 Estado de Sonora.—



3—Mapa índice de las localidades mexicanas de vanadinita.

Estado de San Luis Potosí. Charcas. (Caballero, 1903)

Estado de Guanajuato.—

- ESTADOS UNIDOS. Arizona.— Pinal County, Schulz. Mammoth Mine, cerca de Tiger. (Geuth, 1887; Guild, 1911) (Argall, 1943) una de las mayores del globo (Argall 1943)
- Arizona.— Pinal County.— Black Prince Mine. (Penfied, 1886).
- Arizona.— Castle Dome District. Yuma.
- Arizona.— Castle Dome District. Railroad claim.
- Arizona.— Silver District. Yuma County. Minas Hamburg, Princess y Red Cloud (Silliman, 1881; Blake, 1882) (Lietz, 1931)
- Arizona.— Tucson. Old Yuma. (Guild, 1911).
- Arizona.— Silver District. Yuma County, al norte de Fort Yuma mine. (Zepharovich, 1888; Schaller, 1895; Silliman, 1881) (Argall, 1943)
- Arizona.— Yuma County. Melissa y Phoenix Mines. (Dana, 1951).
- Arizona.— Maricopa County
- Arizona.— Hamburg Distric. Yavapai County (Dana, 1951)
- Arizona.— Globe District. Gila County. (Sietz, 1931)
- Arizona.— Dripping Springs. Gila County (con descloizita) (Argall, 1943).
- Arizona.— Vulture District. Desde Vultur Mine hasta Antelope Mountains.
- Arizona.— Weaver District, en la carretera hacia Prescott.
- Arizona.— Vulture District. Farley's Collateral Mine (Silliman, 1881)
- Nuevo México.— Socorro. Torrence Mine.
- Nuevo México.— Cutter, Sierra Couty (Argall, 1943)
- Nuevo México.— Sierra district. Caballeros Mountains.
- Nuevo México.— Sierra County. Sierra Bella y Sierra Grande. Lake Valley Mines.

Nuevo México.— Kelly (Paul,) (Lietz, 1931)

Nuevo México.— Magdalena. (Heister, 1908)

Nuevo México.— Hillsboro District. (Goldschmidt, 1900) (Lietz, 1931)

Nuevo México.— Grant County. McGorgo Mine. (Genth, 1887)

Nuevo México.— Grant County Bayard (Argall, 1943).

Nuevo México.— Grant County, Central districts.

Nuevo México.— Grant County. Georgetown District.

California.— San Bernardino County. Camp Signal. (Schaller, 1911).

California.— San Bernardino County, cerca de Goffs

California.— Needles (Argall 1943)

California.— Riverside County. El Dorado Mine, cerca de Indice

Montana.— Beaverhead County. Baldmountain Mine. (Genth, 1887).

New York.— Sing—Sing. (Dana, 1951)

ARGENTINA. Departamento de Minas. Sierra de Córdoba. Mina Venus. (Websky, 1881).

Departamento de Minas. Sierra de Córdoba. Aguadita.

Provincia de San Luis. (Rodenbender, 1901)

Pichana. Montoya. Minas Bienvenida y Agua de Rubio (Websky, 1881) (Brackebusch, 1880).

SUECIA. Westgötland.— Kirchspiel. Udenäs. Mina Bölet (Nordström, 1879).

IRLANDA. Wicklow (Thomson, 1836).

INGLATERRA. Escocia. Wanlockheand. High Pirn Mine (Heddle, 1901).

Escocia.— Dumfries.

Escocia.— Lanarkshire, Leadhills (Collie, 1889)

Escocia.— Derbyshire. Matlock (Berzelius, 1816)

ESPAÑA. Provinvia de Badajoz.— Sta. Maria (Tenne y Calderón, 1902)

Provincia en Jaén.— Linares (Tenne y Calderón, 1902)

- FRANCIA. Cerdeña.— Sassari (Ozieri).— Mina Bena e Padrú (D'Lovisato, 1903 y 1904).
Vosgos.— Herival (Longchambon, 1932, Durand, 1958).
- AUSTRIA. Annaberg.— Ostabhang des Gsenger (Sigmund, 1904; Redlich)
Carintia.— Obir. Kappel. Oberschaffer Alpe. Adolfsstollen. (Lietz, 1931)
Carintia.— Oberschläfleralpe. Josephistollen. (Vrba, 1880; Schabus, 1857; Zepharovich, 1873).
Carintia. Gabrielstollen. (Brunlechmer, 1892)
- RUSIA: Urales.— Berjosowsk, cerca de Ekaterinburg (Rose, 1837; Arzuni, 1885).
Kazakstan.— Suleiman Sai. (Janishevsky, 1931)
- ARGELIA. Saïda (Lacroix, 1908)
Djebel Grouz. Constantina
- TUNEZ. Djebba Lacroix, 1910)
- MARRUECOS. Djebel Mahser, a 25 km al S de Oudja (Barthoux, 1922)
(Lietz, 1931)
- CONGO. Djoué (Lacroix, 1913)
- RODESIA. Broken Hill. (Spencer, 1908)
- SUDAFRICA. Transvaal.— Distrito Marico. Mina Dornhoek (Wagner y Marchand, 1921)
Transvaal.— Distrito Márico. Mina Witkop.
Ottoshoop, Kafferkraal
Transvaal.— Ottoshoop. Mina Rhenosterhoek
- AUSTRALIA. New South Wales.— Broken Hill (Smith, 1893)
Tasmania.— Waratah. (Pefferel.)
Coolgardie (Krusch, 1901)

MINERALOGENESIS

El origen del vanadio en la vanadinita se atribuye a la alteración de

sulfuros y de silicatos de vanadio de la ganga y de las paredes rocosas, sin haber explicado claramente las reacciones del proceso.

Se encuentran vanadatos en zonas brechadas en caliza, y como lentes en zonas fracturadas de la misma roca. Se hallan también en vetas en el granito (Argall, 1943).

Reconócese a la vanadinita como mineral secundario de oxidación de los depósitos de plomo. Es mineral característico de sus capas superiores, formado en parte a base de minerales preexistentes y en parte debido a neoformaciones (Hintze, 1924).

Durand (1958) estudia la génesis de la vanadinita del yacimiento de Herival (Vosgos) que se encuentra encastrada en la arcilla de un macizo de granulitas muy alterado. Se reconoce en esa arcilla cantidad importante de montmorillonita saturada por iones (Pb^{2+}), presencia de sales de plomo entre las capas arcillosas y mezclas con coloides húmicos cuyo oficio es fijar los aniones vanádicos y fosfóricos sobre la arcilla.

La montmorillonita desempeña un papel fundamental en la mineralogénesis de vanadinita. La galena, que se ha demostrado primitiva en muchos de los yacimientos, se descompone liberando iones Pb que se fijan sobre la montmorillonita. Demuestra Wey (1955) que los aniones fosfóricos no pueden fijarse en realidad entre las capas de montmorillonita, sino que lo hacen sobre los iones de (Al^{3+}) no saturados de las fracturas cristalinas. Las aguas ricas en iones (Cl^{-}) concentran en esa arcilla cloruro u oxiclорuro de Pb al lixiviarla; en tanto que los eventuales iones vanádicos de las rocas encajonantes logran fijarse gracias a los coloides húmicos absorbidos por la misma montmorillonita. Esta tiene un papel de catalizador, y las materias húmicas constituyen un medio imprescindible para su formación.

De ese conjunto de iones (Pb^{2+}), (Cl^{-}) y (VO_4^{3-}) se constituye la molécula de vanadinita.

PARAGENESIS

El mineral de vanadio más conocido es la vanadinita, con sus característicos cristales prismático exagonales de color rojizo a pardo y brillo adamantino.

No se ha aclarado aún la proveniencia del ácido vanádico. El elemento V es geoquímicamente muy abundante y tiene amplia distribución entre los minerales de hierro; más a diferencia de éste, no suele concentrarse en acúmulos sino diluirse entre los depósitos minerales: de allí su relativa escasez.

Es notable la multivalencia del V, cuyos compuestos tienen radicales desde V_2O_7 a VO, lo cual condiciona sus variados colores, análogamente a lo que acontece con las sales de Cr y de Mn.

Los minerales de V no suelen hallarse en las rocas cristalinas. Los más conocidos (Angel y Scharizer, 1932) son:

A. Los silicatos ardennita y roscoelita:

- La ardennita es un silicato de Mn en donde el V y el As pueden sustituir al Si hasta en un 9%.
- La roscoelita es un silicato de V.

B. Como sulfosales primarias de V pueden considerarse:

- Patronita, V_2S_7
- Sulvanita, Cu_3VS_4
- A estos se contraponen otras sulfosales secundarias, ortovanadatos homeomorfos con piromorfita y mimetesita:
 - Vanadinita, $Pb_{10}Cl_2(VO_4)_6$
 - Descloizita, $(Pb, Zn, Cu)_{10}(OH)_2(VO_4)_6$
 - Pirobelonita, $(Pb, Mn)_2(OH)(VO_4)$
 - Pucherita, $(BiVO_4)$

C. Los otros vanadatos se agrupan por sus tipos paragenéticos:

1º. Yacimiento tipo Minas Ragra, Perú.

Mineral en vetas entre capas de yeso: patronita, relacionada con sustancias carbonosas. En este tipo de depósitos se han descrito:

- Melanovanadinita, $(CaO)_2(V_2O_4)_2(V_2O_5)n(H_2O)$, negra, monoclinica; se halla en grietas de pizarra arcillosa de los depósitos de patronita.
- Pascoíta, $(Ca_2V_6O_{17}) \cdot 11(H_2O)$, amarilla, como formación secundaria en las paredes de las galerías de exploración, formada probablemente a expensas de la melanovanadinita.
- Fernandita, $(CaO \cdot V_2O_4 \cdot 5 V_2O_5 \cdot 14 H_2O)$, eflorescencias verdes criptocristalinas.

- Hewettita, $(CaO \cdot 3 V_2O_5 \cdot 9 H_2O)$, roja, en pequeñas agujas rómbicas.
- Minasragrita $(V_2O_5)_2H_2(SO_4)_3 \cdot 15 H_2O$, como eflorescencias azules en patronita.

Además, en Sincos, Perú, se halla un mineral tetragonal color verde hoja, la sincosita $(CaO \cdot V_2O_4 \cdot P_2O_5 \cdot 5 H_2O)$, en pizarras carbonosas negras.

2º Depósitos en arenisca, en varios lugares (Cañón Pintado, Utah), eflorescencias verdes de pintadoíta $(H_2CaVO_4 \cdot 4 H_2O)$: impregnación de bastoncillos rojo negruzcos de metahebettita (Colorado y Utah)

En trozos de madera petrificados y en masa cementante de areniscas de Jo Dandy Mine, Paradox Valley, Colorado, se halla Vaxonita $(2V_2O_4 \cdot V_2O_5 \cdot 8 H_2O)$.

3º Tipo de depósitos de Syr Darja, Ferghana, Turquía. Depósitos en formas tubulares de erosión en caliza carbonífera, por reacción de las soluciones ascendentes de vanadio y uranio, con el medio. Así se constituyen:

- Turanita, $(5 CuO \cdot V_2O_5 \cdot 2 OH)$, parecida a erinita. En horizontes inferiores es reemplazada por tangeíta.
- Tangeíta, $(2 CaO, 2 CuO, V_2O_5 \cdot H_2O)$ es una turanita que reemplaza parte de su Cu por Ca. Masas Fasciculares verde olivá oscuras.
- Altaíta, que representa al ácido metavanádico puro $H_2V_2O_6$, en formación musgosa roja oscura, de brillo sedoso. Se encuentra en los productos negros, plásticos, de sustitución, en las zonas superiores de los yacimientos.

Como mineral central de las tres combinaciones citadas está la Tjujumunita $(CaO \cdot 2 UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot 4 H_2O)$, verde amarillo, escamoso fino, radiactivo, idéntico a ferghanita.

4º Depósito tipo Kara Tschagir, Asia Central, en esquistos cuarzosos y carbonosos. Se encuentran:

—Kolovratita, masas coloidales pædes o verdes.

—Usbekita, $\text{CuV}_2\text{O}_8 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$, hojosa, verde oscura.

Por la tjujunita y la carnotita se halla el paso de los minerales de vanadio al de los de uranio; con términos intermedios como

—Rauvita ($\text{CaU}_2\text{V}_{12}\text{O}_4\text{O} \cdot 20 \text{H}_2\text{O}$), rojiza, microcristalina

—Uvanita ($\text{U}_2\text{V}_6\text{O}_{21} \cdot 15 \text{H}_2\text{O}$), amarillo parduzca, ortoclínica; ambas sobre areniscas bituminosas.

ASOCIACIONES MINERALOGICAS:

Las asociaciones mineralógicas citadas en las descripciones hechas de los principales yacimientos de vanadinita son:

- con minerales de Pb: Siempre se la ha encontrado en relación con otras menas de plomo, y es muy común la presencia de vanadinita condicionada a minas de galena, si bien nunca se la halla sobre este mineral. Las especies que se han encontrado en yacimientos de vanadinita son:

piromorfita	cerusita
mimetesita	plattnerita
descloizita	anglesita
mottramita	minio
wulfenita	masicot

- con minerales de Fe: Limonita
- con minerales de Cu: curpodescloizita, volbortita (?). Se ha encontrado la primera rellenando el hueco de los cristales columnares de vanadinita.
- con minerales de Zn: Calamina (sic), hopeíta.
- con minerales de Mn: sobre wad de manganeso (cristales e incrustaciones), pirolusita.

— con minerales de Ca: calcita, aragonito, (en inter- y epicrecimientos), fluorita.

— con minerales de Mg: dolomitas (jurásicas).

— con yacimientos de Au: vetas de cuarzo aurífero con Pb y Cu.

EPIGENESIS

Se encuentran en las publicaciones sobre vanadinita los siguientes datos referentes a crecimientos epigenéticos:

- Intercrecimientos: en calcita
- Epicrecimientos: cuarzo (endlichita en drusas de cuarzo).
cuarzo y galena argentífera.
calcita.
descloizita; así como su inverso, descloizita sobre vanadinita.
yodargirita
- Relleno de cristales columnares: vanadinita, descloizita.
- Cristales recubiertos por descloizita (Tucson, Arizona (Guild, 1911))

SEUDOMORFISMO

Por los ejemplares de Berjosowsk (Urales) se tuvo noticia del crecimiento isomorfo de vanadinita y piromorfita, antes de que se estudiaran las relaciones isomórficas entre ambos minerales: se admitió el fenómeno como caso de pseudomorfismo de vanadinita hacia piromorfita (Kokscharow, 1856).

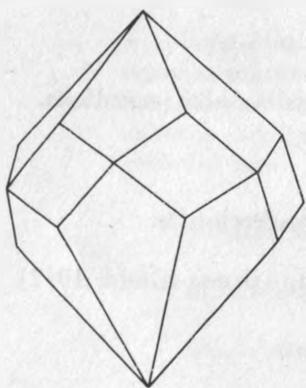
Seudomorfosis de vanadinita hacia siderita ha sido citada por Smith (1893) en sus muestras australianas.

Los casos de pseudomorfosis de vanadinita hacia anglesita fueron descubiertos en muestras argentinas de Sierra de Córdoba, por Websky (1881). También hace notar este autor la presencia de costras que indican un proceso de transformación inversa.

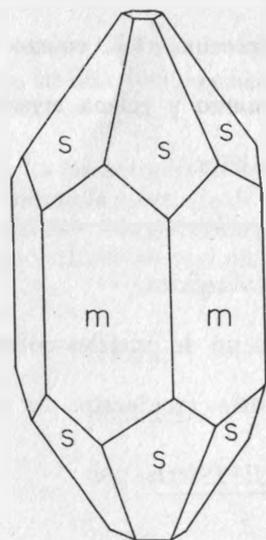
En Gabrielstollen, Carintia (Austria) se presentan casos de pseudomorfosis de descloizita hacia vanadinita, con núcleo de color rojo jacinto hasta rojo pardo, y cubierta de descloizita (Brunlechner, 1892) observando que los cristales eran huecos, aunque no se tuvo una seguridad suficiente sobre la naturaleza de esa formación.

Se ha encontrado descloizita como pseudomorfo según vanadinita.

En lámina delgada que se confeccionó, de unos cristales de vanadinita de la Sierra de los Lamentos, se aprecia una textura en mosaico, de birrefringencias muy elevadas, debidas probablemente a vanadinita con fragmentos pseudomorfos de descloizita o de piromorfita.



4—Cristal de vanadinita
(Fig. 50 de Hintze, 1924)



5—Cristal de vanadinita (Fig. 51 de Hintze, 1924)

ALTERACION

Se sabe poco sobre su alteración: probablemente se forma por intemperismo, ocre de vanadio.

PRESENCIA Y HABITO

La vanadinita se presenta fundamentalmente en cristales exagonales

columnares aislados, alargados por el eje c, con caras prismáticas de 1^o y 2^o órdenes, terminados en sus cabos por sus pirámides correspondientes. En algunos ejemplares desaparecen las pirámides por el desarrollo total de la base. Caras lisas y aristas vivas. Ciertos cristales: no medibles por su escaso brillo y curvatura de los prismas. Otras caras fuertemente estriadas.

Sus dimensiones varían desde los vistos por Barthoux (1924) de 3 cms. de largo por 1.5 a 2 cms. de diámetro, hasta los de dimensiones más comunes, entre 1 y 5 mm. de longitud por 0.5 a 3 mm. de grosor, con lo cual resulta que algunos cristales toman el aspecto de un prisma grueso (caras laterales brillantes y base corroída) o el de formas tabulares. En estos casos carecen de apuntamiento piramidal y terminan por base plana más o menos desarrollada. Las caras piramidales son entonces pequeñas y se reducen a bordear las bases. También es frecuente el hábito puramente piramidal (Hintze, 1924). Penfield (1886) mide cristales de vanadinita de Pinal County, Arizona, algunos con formas indicatrices de una clase piramidal hemiédrica (paramórfica), que presentan relaciones de hábito con los del apatito.

En los diferentes yacimientos han sido estudiados cristales que se apartan de la forma general antes descrita: a continuación se citan estos casos con el nombre de los autores que les dedicaron su atención por vez primera.

Pequeños cristales y granos: Escocia (Collie, 1889)

Cristales finos de 2 mm. de largo por 0.2 mm. de espesor, con los dos cabos bien terminados, lo cual es raro en cristales de esta especie.

Cristales muy alargados, hasta llegar a aciculares. (Barthoux 1924).

Cristales prismáticos de 2 mm. de longitud por 1.5 mm. de grosor, con cara terminal. Las prismáticas (de 1^o y de 2^o órdenes) con bordes lisos, mientras que presentan rugosidades y corrosiones en su mitad: Lake Valley (Genth y Rath, 1885).

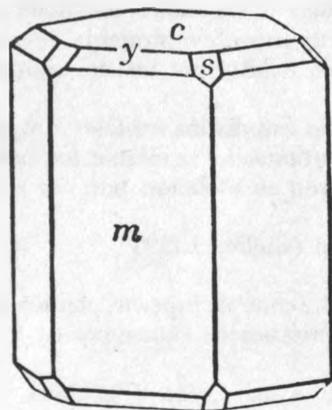
Cristales gruesos, equidimensionales, opacos: descritos en Marruecos por Barthoux (1924) y en el Transvaal por Wagner y Marchand (1921).

Cristales aplanados, tabulares, que se hallan en estas dos últimas localidades y descritos respectivamente por los mismos autores.

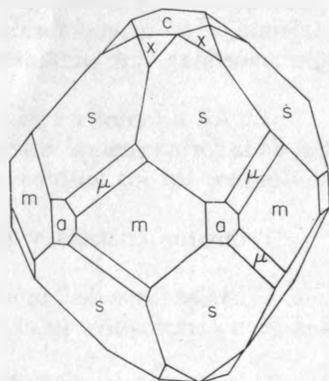
Es muy característico el que varios cristales de vanadinita se presenten como huecos o con espacios cóncavos, de caras bien formadas. Los autores clásicos se refieren a esta propiedad sencillamente, sin pretender interpretar-

los: más adelante se estudia este fenómeno como efecto de agregaciones uni-axicas de dos o más individuos, que llegan a borrar la facies unitaria exagonal del conjunto. En esta clase de agrupaciones son comunes en el yacimiento de la Sierra de los Lamentos, Chih., México. Smith es el único que los cree como macla triple (del Silver District). Lacroix los describe entre los hallados en el Congo como rojo oscuros y relleno el fondo de la oquedad, de descloizita. Zepharovich (1865) ha observado que los cristales columnares más gruesos eran huecos, rellenos en su fondo por vanadinita celular.

Algunas columnas toman aspecto toneliforme por el desarrollo de varias caras piramidales del mismo orden que las del prisma que alargan. Han sido citados por Genth (1887) en Arizona, con núcleo pardo y capa exterior amarilla. También fueron vistos así en Marruecos por Barthoux (1922)



6—Cristal de vanadinita (Fig. del Dana's System vol. II (1951)896)



7—Cristal de vanadinita (Fig. 52 de Hintze, 1924)

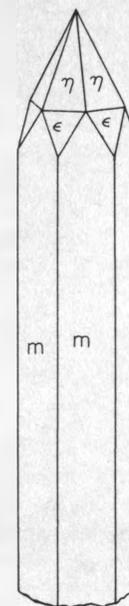
En Arizona halló Blake (1681) unos pequeños cristales prismáticos exagonales, curvados. Barthoux describe también cristales análogos, agrupados paralelamente al eje vertical dando tonelillos o esférulas de superficie rugosa debida a los triedros de sus extremos que terminaban en ella.

Cristales redondeados y en agrupaciones paralelas como piromorfita, mimetesita, esqueletiforme y gradados, fueron hallados en Lake Valley por Genth y Rath (1885).

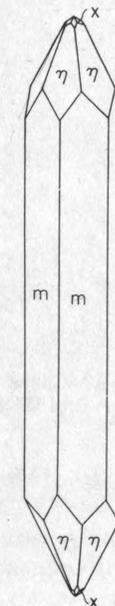
Manojos estelares de cristales sobre calcita, en Vulture District (Silliman, 1881).

Cristales diseminados (observados por Dana en Sing-Sing, New York) diseminados sobre calcita, frecuentemente con descloizita (en Sierra Grande, Nuevo México) sobre wad de manganeso, citados por Wagner y Marchand (1921) en el Transvaal.

Recubrimiento sobre cuarzo, de cristales verde pálido a verde oliva, parduzco (en Arizona, Genth (1887), sobre piromorfita en los Urales, Rose, 1837); costras y cristales con descloizita en Cerdeña. (D'Lovisato, 1903); costras botrioides y esferas radiadas en Transvaal (Wagner, 1921). Las esférulas son irregulares y blanco amarillentas (en Marruecos), y las masas botri-



8—Cristal de vanadinita (Fig. 56 de Hintze, 1924)



9—Cristal de vanadinita (Fig. 57 de Hintze, 1924)

oides, negro parduzcas con cristales radiados, erizadas por apuntamientos piramidales. Ligero recubrimiento sobre wad terroso (en Lake Valley, Genth y Rath, 1885); costras tapizando cavidades de minerales de plomo y fluorita (en Arizona Blake, 1881).

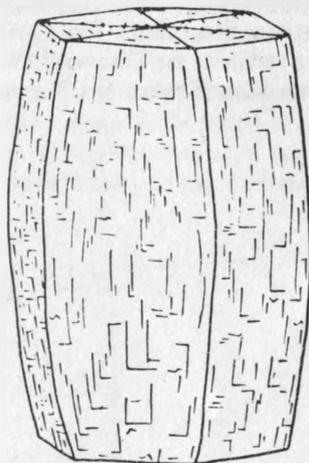
Geodas.

Cristales y agregados macizos en argentita (Brackenbusch, 1880).

Masas de cristales rojo pálidos a rojos (Magdalena, Nuevo México), ma-

sas pardas color cuero o amarillo parduzcas, mates (Argentina, Websky); masas frecuentes (Escocia, Heddle, 1901); masas granudas (Túnez, Lacroix, 1910); masas gutiformes poco claras (Rodesia, Spencer, 1908).

Incrustaciones en roca silicato-cálcica (Transvaal, Wagner, 1921).



10—Cristal de vanadinita (Fig. del Dana's System vol. II (1951)896)

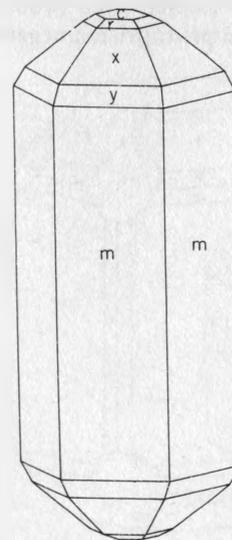
FORMAS OBSERVADAS

En la tabla general de las formas observadas se pueden ver las diversas designaciones de que han sido objeto, en orden histórico.

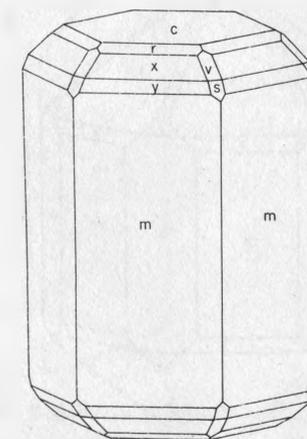
En su segunda parte se leen los símbolos exagonales (sistema G_1 de Goldschmidt) que les corresponden, y en la tercera las formas observadas por algunos autores. Las cruces que carecen de otra a su izquierda indican que la forma fue observada por primera vez por el autor respectivo.

En este trabajo se adoptan las letras indicatrices que acepta Hintze (1924), por ser la lista más completa y para evitar las ambigüedades que se han ido introduciendo: su examen y confrontación con las otras de la tabla, justifica su preferencia. Es de hacer notar que en ella se han de incluir las formas J y N citadas por Dana(1951) que no conoce Hintze. (En Dana esa J se la designa por H, más se verá que esta última ya es la empleada como (70*2).

Los primeros mineralogistas, Rammelsberg (1856) y Schabus (1857), observaron 4 y 7 formas respectivamente, en cristales austríacos de Adolfsstollen, más tarde Vrba (1880) pudo reconocer 11 formas en vanadinita de Josephstollen. Los dos primeros autores emplearon designaciones arbitrarias; Vrba ya adoptó la designación de las caras que empleó Schrauf para el apatito, designaciones que se han mantenido casi todas en las descripciones sucesivas, salvo ligeras variantes. Cambian únicamente las caras a, b, con respecto a la designación de Hintze.



11—Cristal de vanadinita (Fig. de Vrba (1880), citado como fig. 47 por Hintze, 1924)



12—Cristal de vanadinita (Fig. 2 de Vrba (1880), citado como fig. 48 por Hintze, 1924)

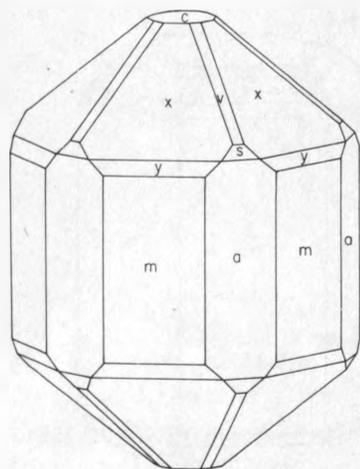
Vrba reconoce las formas de sus predecesores y establece como nuevas las r, z, h. Con excepción de la cara de pirámide q, no pudo verificar la pertenencia del escaenoedro a la zona xsm' . Referente a las caras observadas por Vrba, las x, c, son completamente planas y especulares, bastante bien desarrolladas; las y, z, brillan menos y presentan una estriación horizontal fina (que en el prisma de 1ª especie es bastante fuerte). Las caras r, v, s, a, tienen brillo bastante vivo; los reflejos de h resultaron imposibles de medir sin la introducción de la lupa. Son frecuentes las dos caras grandes, aunque algo redondeadas y difícilmente medibles.

El hábito de los cristales considerados es el columnar vertical, condicionado por el predominio del prisma exagonal de 1ª especie. La combinación

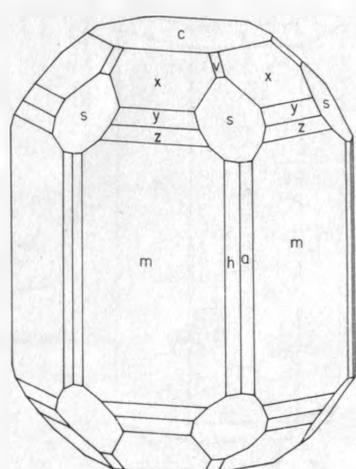
más frecuente es la de las caras m , x , que completan el prisma exagonal, acompañadas de la cara y muy estrecha y bastante frecuente, así como de la c como diminuto truncamiento.

Vrba presenta las figuras de sus formas observadas:

En la figura 11 las combinaciones m , x , y , c , con las caras pequeñas x , c , r . En la figura 12 es notable la extensión de la base, de las caras dominantes m , c , x , y de las muy pequeñas y , r , v , s . Los cristales son columnares, aunque menos largos que los de la figura anterior. Hace notar que dos de las columnas más gruesas son huecas; hecho ya observado por Zepharovich (1865) y ahora interpretado por Vrba como representante de un protoprisma negativo.



13—Cristal de vanadinita (Fig. 3 de Vrba (1880),



14—Cristal de vanadinita (Fig. 4 de Vrba (1880), citado como fig. 49 por Hintze, 1924)

En la figura 13 se presentan cristales piramidales bastante cortos, con caras m , a , enteras y de igual ancho, en cuyo extremo superior dominan las x , y , v muy estrechas, con las c , s , muy pequeñas.

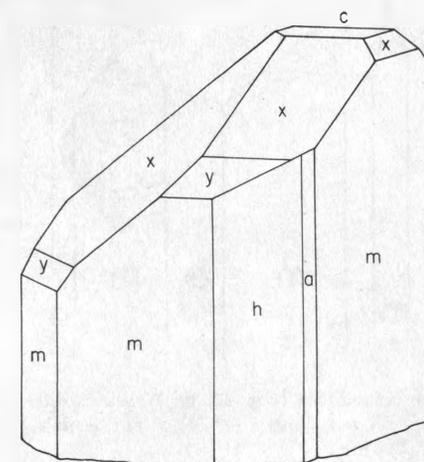
En la figura 14 los cristales son muy ricos en caras: además de las dominantes m , c , x , se encuentran dos s anchas aunque no bien medibles, otras y , v , a como pequeñas fascetas, con la z , h que halla Vrba como nuevas.

En la figura 15 se representan cristales no muy buenos en los que dominan las caras h paralelas, frecuentemente estriadas y grandes (tritoprisma) según las cuales son tabulares.

En síntesis, las formas más comunes observadas por Vrba son las m , c , x , y , a , μ .

Websky (1881) mide unos cristales argentinos y reconoce las mismas formas que Vrba, añadiendo como nueva a la lista la cara μ .

Más tarde midió Penfield (1886) unos cristales de Pinal County, Arizona. Reconoció asimismo las antiguas formas; si bien en su lista de coordenadas esféricas azimutales no consigna la presencia de las caras q , z . Observa que la cara u se ve en ambos cabos del cristal, asociándose a ella las x , r , y con las pirámides de 1ª especie, así como las s , v con las pirámides de 2ª especie. La cara h no la tiene por común.



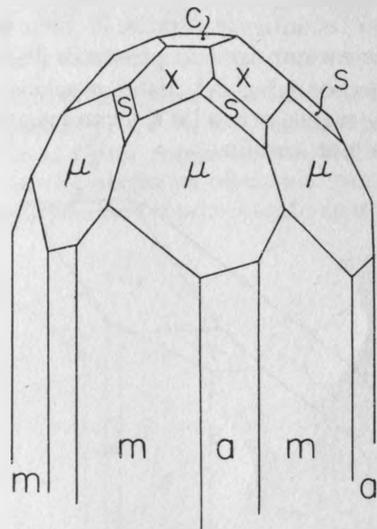
15—Cristal de vanadinita (Fig. 5 de Vrba (1880)

Es el primero en observar como hemiédricas las caras h , μ , decidiendo por ellas la clase piramidal hemiédrica del exagonal ($C_6 - 6 - Q_5$: exagonal tetartoédrica) a la que atribuye la vanadinita;

El examinar la tabla general de las formas de vanadinita estudiadas, se nota que los dos otros autores que reconocieron formas nuevas son Goldschmidt (1905) y Schaller (1905). Los demás confirman la existencia de las ya observadas, con excepción de Dana (1951) quien aporta como nuevas la noticia de las caras J (que tiene por H) y N .

Goldschmidt (1900) publica su estudio cristalométrico muy completo sobre la vanadinita (que él tiene por endlichita) en Hillsboro, Nuevo México. Mide 13 cristales en los que llega a determinar 24 formas; de entre ellas la g , f , δ , γ , α , β , ζ , e , l , t , p , i , ; además de la σ , aunque no la cite como tal. Reconoce la calidad exagonal tetartoédrica de la vanadinita, que había previsto ya Penfield con base en la cara h , μ , (hoy en día paramórfica).

Goldschmidt estudia detenidamente el orden de importancia de las formas, que expresa en la tabla I.
Con base en dicha tabla deduce las observaciones siguientes:



16—Cristal de vanadinita (Fig. 11 de Websky (1881), citado - como fig. 53 por Hintze (1924) y por Dana's System vol. II (1951(896)

- m es la cara principal, grande y presente en todos los cristales.
- c la sigue en importancia, rara vez falta.
- x, a son muy comunes.
- y, z, μ , h, siempre bien desarrolladas, son frecuentes.
- s, v, i, son más raras, aunque bien formadas.
- g, f, δ , γ , α , β , π , q, e, l, son de reflejos débiles.
- p, ζ , son de reflejos débiles y no muy seguras.

Es notable que la zona prismática, la principal del cristal, comprende 4 formas, las a, h, g, f, de las cuales las dos últimas son débiles y estrechas. Goldschmidt lo atribuye al corto espacio de 30° en que se repiten.

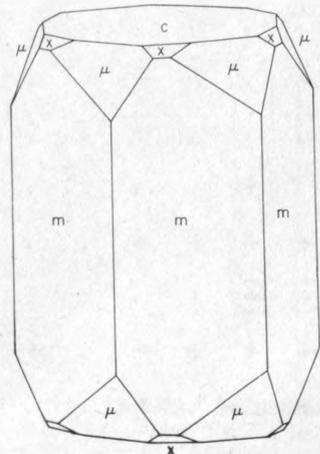
Como nudos zonales primarios están las caras m, c. El nudo x falta en los cristales de Hillsboro; el nudo μ es el portador de la meroedría (tetartoedría) de la vanadinita, que había sido ya prevista por Penfield con base en

TABLA Combinaciones halladas por Goldschmidt en 13 de los cristales medidos.

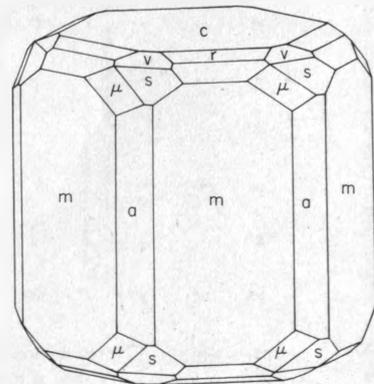
Fig.	19	20	21	22	38	23
p	.	.	(+)	.	.	.
t	.	.	.	.	+	.
μ	+	.	+	.	+	+
l	.	+	.	.	.	.
e	.	.	.	.	+	.
i	.	.	+	.	+	+
μ	.	.	(+)	.	.	.
s	.	.	+	.	+	+
v	.	.	.	.	+	+
π	.	.	.	.	.	.
z	+	+	+	.	+	+
q	.	.	.	.	(+)	(+)
y	+	.	+	.	+	+
β	.	.	.	.	+	+
α	.	.	+	.	.	.
γ	.	.	+	.	+	.
δ	.	.	.	.	+	+
x	+	+	+	+	+	+
r	.	.	.	.	.	.
σ	.	.	.	.	.	.
f	+	.	+	.	+	(+)
g	+	.	.	.	+	(+)
h	+	.	+	.	+	+
a	+	+	+	+	+	+
m	+	+	+	+	+	+
c	+	+	+	+	+	+
Crist.	1	2	3	4	5	6
	7	8	9	10	11	12
	13					

las caras h , μ , y que Goldschmidt reconoce.

Schaller no describe sus formas, sino que se limita a sus mediciones goniométricas, por cierto muy minuciosas y con todas las probabilidades de verosimilitud. Es notable la coincidencia de resultados expuestos con el trabajo de Goldschmidt (1900), y de no ser por la fecha de la publicación, se tiene la impresión de que éste tomara los valores de sus coordenadas azimutales del trabajo de Schaller (1905).



17—Cristal de vanadinita (Fig. 1 de Penfield (1886), citado como fig. 54 por Hintze, 1924)



18—Cristal de vanadinita (Fig. 2 de Penfield (1886), citado como fig. 55 por Hintze, 1924)

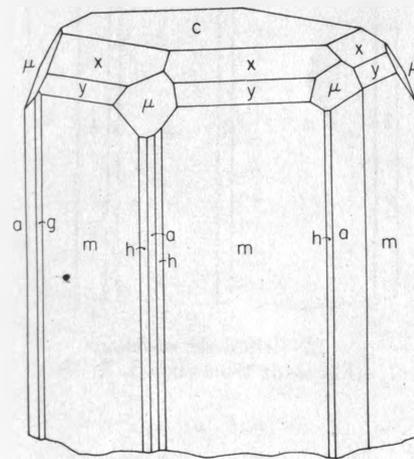
Halla Schaller como formas nuevas las k , d , o , u , A , H , K , L , y aunque él no las cita, parece ser que también las ϵ , η . Indica como inciertas las caras n , B , D , E , G , F . Es el único que consigna como vecinales las $26 \cdot 0 \cdot 26 \cdot 25$, $43 \cdot 0 \cdot 43 \cdot 40$, $19 \cdot 0 \cdot 19 \cdot 10$, $15 \cdot 0 \cdot 15 \cdot 7$.

Resumiendo, los autores que han estudiado más extensamente la morfología de la vanadinita son Vrba, Penfield, Goldschmidt y Schaller. De entre las 50 formas citadas en la tabla general, hay 4 vecinales y 10 inciertas. Las caras más seguras se pueden agrupar con Hintze en:

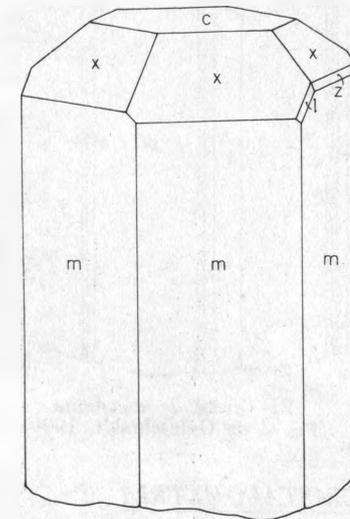
- Base
- prismas de 1ª y de 2ª especies.
- 4 prismas de 3ª especie

- 22 bipirámides de 1ª especie.
- 4 bipirámides de 2ª especie
- 6 bipirámides de 3ª especie
- 2 bipirámides hemimórficas

siendo las más comunes las m , c , x , y , a , μ . Las otras formas son propias de algunas localidades. La combinación más frecuente es la de las caras m , x , que completan el poliedro exagonal, con las a como caras muy estrechas y las c , s como pequeños truncamientos. (Fig. 2)



19—Cristal de vanadinita (Fig. 1 de Goldschmidt (1900))



20—Cristal de vanadinita (Fig. 2 de Goldschmidt, 1900)

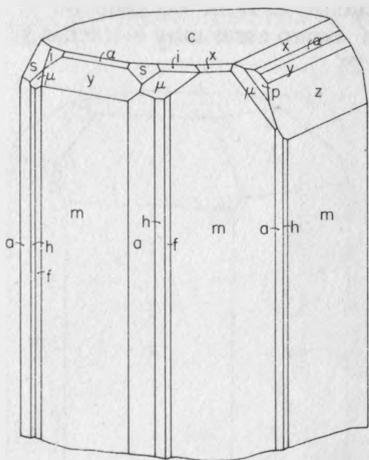
Las caras h , μ , son índice de la meroedría a que pertenece el cristal. El desarrollo de la primera de estas formas, h , da cristales de aspecto tabular. (Fig. 23).

De los cristales de vanadinita de que se ha podido disponer para este estudio, la casi totalidad presentó formas muy sencillas y constantes:

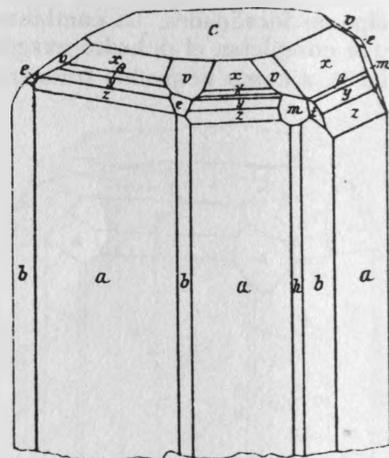
- m ($10 \cdot 0$) y a ($11 \cdot 0$) prismas de 1ª y 2ª especies
- x ($10 \cdot 1$), pirámide de primera especie, que se presenta con bastante frecuencia y exclusivamente cuando se halla asimismo el prisma también de primera especie, más no en combinación con el de segunda, al cual no suele acompañar pirámide.

c (00*1) pinacoide básico, no terminando todos los cristales.

En particular, los cristales de la Sierra de Los Lamentos se constituyen por acinamientos de prismas algunos huecos de aspecto ruiforme, como almenas arracimadas, otros llenos con individuos maclados, formados casi exclusivamente por prismas y tercer pinacoide c (00*1, éste casi constantemente deslustrado y como corroído.



21—Cristal de vanadinita (Fig. 3 de Goldschmidt, 1900)



22—Cristal de vanadinita (Fig. 4 de Goldschmidt, 1900)

CRISTALOMETRIA

Son notables las determinaciones angulares efectuadas sobre vanadinita: todas ellas en general de buena calidad y aun notables algunas. En este proceso de goniometría se pueden distinguir dos etapas:

a) Medición de los ángulos interfaciales.

Rammelsberg (1856) y Schabus (1857) midieron goniométricamente los cristales de vanadinita de Adolfsstollen de la mina de plomo de Zauchen en el Obir, cerca de Kappel, Carintia, Austria, no hallando la coincidencia que esperaban de la buena formación de los cristales y del brillo intenso de sus caras.

Rammelsberg valoró el ángulo x:m (10*1:10*0)= 50°00', calculando de allí c = 0.726682.

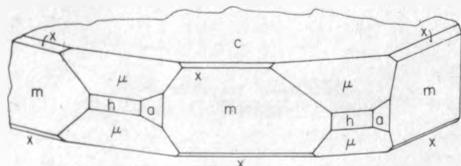
	Rammelsberg (1856)	Schabus (1857)	Vrba (1880)	Webky (1881)	Goldschmidt (1900)	Schaller (1905)	Hintze (1924)	Dana (1951)	SÍMBOLOS	Rammelsberg (1856)	Schabus (1857)	Vrba (1880)	Webky (1881)	Penfield (1886)	Collie (1889)	Faul	Cutter	Zepharovich (1892)	Goldschmidt (1900)	Schaller (1905)	Hedde (1901)	Lacroix (1908)	Zepharovich (1908)	Guild (1911)	Wagner y Marc (1921)	Barthoux (1922)	Lacroix (1922)	Hintze (1924)	Dana (1951)
+	*	c	c	c	c	c	c	c	00*1		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
p	p	a	a	a	a	m	m	m	10*0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
+	*	b	b	b	b	a	a	a	11*0		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
+	+	h	+	h	h	h	h	h	21*0			+	+						+	+								+	
+	+	r	+	r	r	r	r	r	10*2		+	+	+	+					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
d	p	x	x	x	x	x	x	x	10*1	+	+	+	+	+		+	+		+	+			+	+	+	+	+	+	
d ²	+	y	+	y	y	y	y	y	20*1	+		+	+						+	+			+	+	+	+	+	+	
+	q	q	+	q	q	q	q	q	50*2		+	+							+	+			+	+	+	+	+	+	
+	+	z	+	z	z	z	z	z	30*1						+				+	+	+							+	
+	*	v	+	v	v	v	v	v	11*2		+	+		+					+	+						+	+	+	
d ₂	r	s	s	s	s	s	s	s	11*1	+	+	+	+	+					+	+			+	+	+	+	+	+	
+	+	+	+	u	m	i		u	21*1			+	+	+					+	+			+	+	+	+	+	+	
									10*3									+	+	+			+	+	+	+	+	+	
									g g g g	31*0									+	+								+	
									f + f f	51*0									+	+								+	
									50*4							+			+	+								+	
									y y y y	40*3									+	+								+	
									30*2										+	+								+	
									50*3										+	+								+	
									41*4										+	?	+							+	
									e + e e	32*3									+									+	
									l l l l	32*2									+	+								+	
									t + t t	52*2									+									+	
									p + p p	41*2									+	?								+	
									+ k k k	30*4										+								+	
									i + i i	21*2										+								+	
									40*1										+	+								+	
									d d d	53*0										+								+	
									o o o	70*6										+								+	
									u u +	70*5										+								+	
									A A A	70*4										+								+	
									H H +	70*2										+								+	
									K K +	11*0*3										+								+	
									L L +	10*0*1										+								+	
									n n +	11*0*10										+								+	
									B B +	90*5										+								+	
									D D +	80*3										+								+	
									E E +	80*3										+								+	
									G G +	10*0*3										+								+	
									F F +	11*0*4										+								+	
									33*2																			+	
									22*1																	+		+	
									+ J H	72*0																		+	
									+ + +	50*1																		+	
									vecinales:	26*0*25											+							+	
										43*0*40											+							+	
										19*0*10											+							+	
										15*0*7											+							+	

TABLA general de las formas observadas de vanadinita.

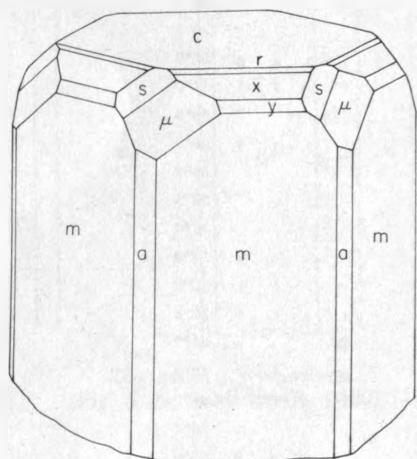
Schabus midió el ángulo $x:x'(10*1:\bar{1}0*1)=78^{\circ}49'$, o sea doble del $x:c(10*1:00*1)=39^{\circ}24'30''$, resultando de allí $c=0.711572$.

La discrepancia se debe a que Schabus basó sus mediciones en caras piramidales, con buenos reflejos: mientras que Rammelsberg midió la inclinación de la pirámide sobre el prisma, menos conveniente por la magnitud de estas últimas caras. Sin embargo, se nota cierta coincidencia entre esas determinaciones angulares y esos cálculos.

Vrba (1880) repitió las mediciones goniométricas sobre dos buenas muestras de cristales de vanadinita de Josefsstollen (Oberschäfleralpen, Austria): sus resultados se aproximan a los hallados por Schabus:



23—Cristal de vanadinita
(Fig. 6 de Goldschmidt, 1900)



24—Cristal de vanadinita
(Fig. 5 de Guild, 1911)

$$(10*1:00*1) = 39^{\circ}25'56'', \text{ con } c = 0.712177$$

Vrba da una tabla de sus valores angulares hallados (Tabla I)

En los 20 años siguientes se describen algunos ejemplares de vanadinita por Websky, Penfield, Collie, Paul, Cutter y Zepharovich. Este último establece como nueva la cara σ . De entre estos autores son más notables las mediciones de Penfield, quien establece además una comparación angular entre vanadinita y endlichita.

Los ángulos interfaciales observados por Websky se citan en la tabla II.

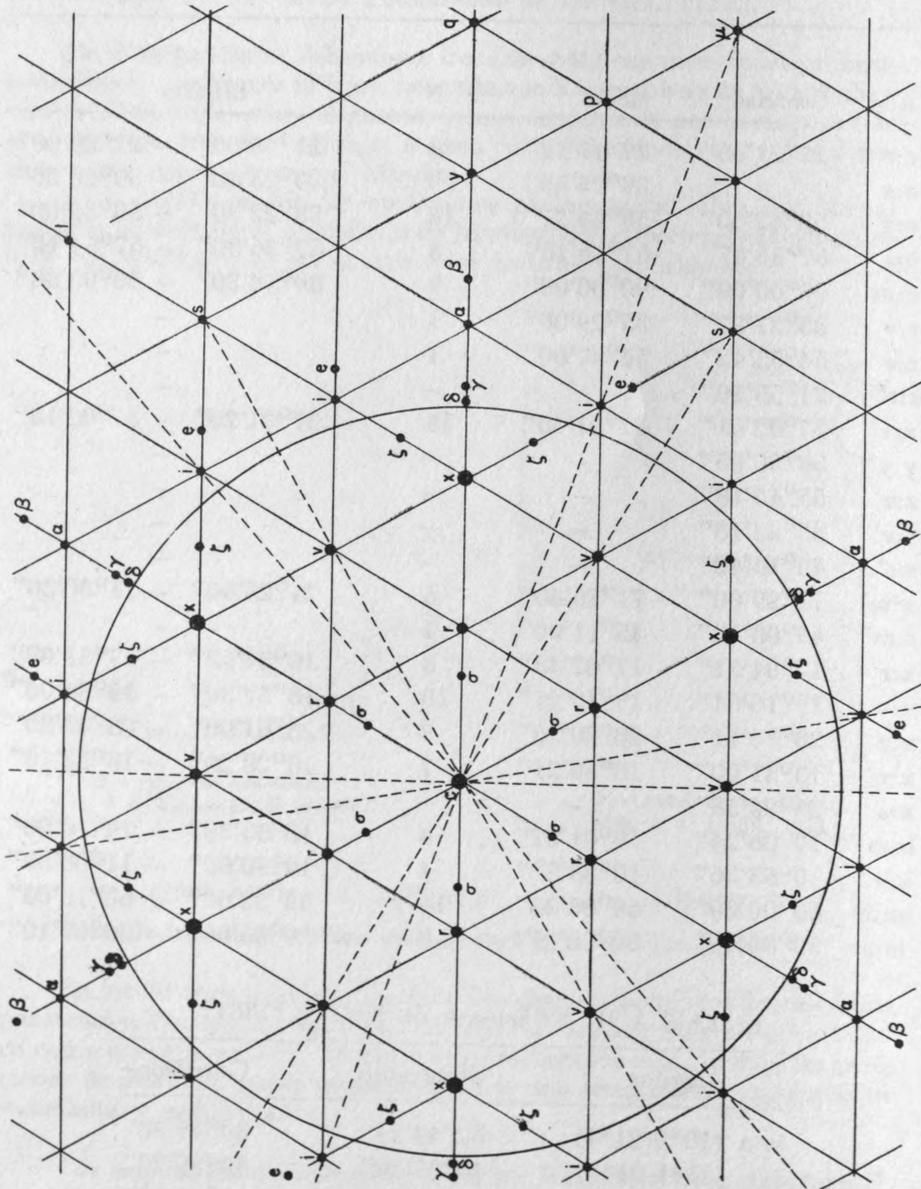
La Tabla III se refiere a los diedros interfaciales estudiados por Penfield.

TABLA I. Valores angulares hallados por Vrba (1880)

Ang	Calculad.	Mediciones		
		Media	Nº.	Límites
c:r	22°21'05"	22°18'12"	8	21°45'00" — 22°29'00"
c:x	—	39°25'56"	19	39°25'40" — 39°26'20"
c:y	58°42'00"	58°44'17"	10	58°23'30" — 58°32'00"
c:z	67°56'07"	67°46'18"	3	67°36'30" — 67°54'10"
c:m	90°00'00"	90°00'00"	9	89°54'30" — 90°03'30"
c:v	35°27'27"	35°29'00"	1	—
c:s	54°55'42"	54°37'00"	1	—
r:r'	21°55'20"	—	—	—
x:x'	37°02'01"	37°01'48"	16	37°01'20" — 37°02'10"
y:y'	50°35'05"	—	—	—
z:z'	55°12'18"	—	—	—
v:v'	33°43'18"	—	—	—
s:s'	48°18'42"	—	—	—
x:m'	71°29'00"	71°26'40"	6	71°23'50" — 71°30'30"
s:m'	45°08'10"	45°11'00"	1	—
x:r	17°04'51"	17°07'48"	8	16°54'00" — 17°31'00"
x:y	19°16'04"	19°18'21"	10	18°57'30" — 19°36'00"
x:z	28°30'11"	28°20'22"	3	28°01'00" — 28°43'20"
x:v	18°31'00"	18°30'21"	7	18°28'20" — 18°33'10"
x:s	26°20'58"	—	—	—
h:m	19°06'24"	19°01'07"	4	18°53'30" — 19°30'00"
h:a	10°53'36"	10°58'52"	4	10°30'00" — 11°08'30"
m:m'	60°00'00"	60°00'24"	16	59°52'00" — 60°10'00"
m:a	30°00'00"	30°00'21"	8	29°55'00" — 30°06'10"

TABLA II. Mediciones de Websky (1881)

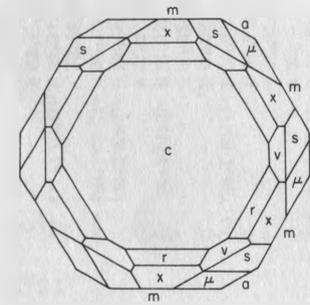
Ángulos	Observados	Calculados
m:u (10*0:21*1)	30°44'24"	30°49'38"
u:x (21*1:01*1)	40°37'40"	40°39'22"
x:x' (01*1:\bar{1}1*1)	37°03'02"	37°02'00"
x:s (11*1:\bar{2}1*1)	26°35'45"	26°37'51"
s:m (21*1:10*0)	44°40'30"	44°51'09"



25—Nomonograma de un cristal de vanadinita, según Goldschmidt (1900), fig. 7.

TABLA III. Mediciones de Penfield (1886)

Angulos	Observ.	Calculados	
		Vrba	Penfield
a:v (11*0:11*2)	54°30'	54°33'	54°35'
m:r (10*0:10*2)	67°42'	67°39'	67°41'



26—Proyección ortogonal de un extremo de cristal de vanadinita (enfield, 1886)

m:x (10*0:10*1)	50°33'	50°34'	50°36'
m:y (10*0'20*1)	31°20'	31°18'	31°20'
x:x' (10*0:01*1) ?	37°02'	37°02'	37°00'
x:s (10*1:11*1)	26°36'	26°38'	26°36'
s:u (11*1:21*1)	14°00'	14°02'	14°01'
m:u (10*0:21*1)	30°55'	30°50'	30°52'
c:u (00*1:21*1)	65°17'	65°19'	65°17'
m:h (10*0:21*0)	19°09'	19°06'	19°06'

TABLA IV.- Cuadro general de ángulos interfaciales calculados por diversos autores.

c (00*1)	m (10*0)	a (11*0)	h (21*0)	x (10*1)	y (20*1)	s (11*1)	(21*1)	z (30*1)	(10*3)	r (10*2)	v (11*2)	M (11*0)	A ₂ (12*0)
c (00*1)	H 90°												
m (10*0)													
a (11*0)	V 30°00'	V 30°00'	V 19°06'24"	V 39°25'56"	V 58°42'	V 54°55'42"	P 65°17'	V 67°56'07"	Z 15°49'45"	V 22°21'05"	V 35°27'27"	D 90°	D 90°
h (21*0)	H 19°06'30"	V 10°53'36"	V 10°53'36"		P 31°20'	W 30°51'09"	W 30°49'38"			P 67°41'		D 60°	D 90°
x (10*1)	H 39°26'	R 50°00'	H 56°38'	V 53°07'	V 36°10'	V 26°38'					P 54°35'	D 90°	D 60°
y (20*1)	H 58°42'	V 31°18'	V 53°07'		V 19°16'04"	P 26°36'						D 79°06'30"	D 70°53'30"
s (11*1)	H 54°56'		V 36°10'	V 19°16'04"				P 28°31'			V 18°31'	D 71°29'	D 90°
(21*1)	H 65°19'	H 30°51'	H 26°50'30"	V 26°38'			P 14°01'					D 64°42'30"	D 90°
d (53*0)	H 21°47'					V 14°02'						D 90°	D 65°50'30"
g (31*0)	H 13°54'											D 80°07'	D 72°42'
H (72*0)													
f (51*0)	H 8°57'												
(10*3)	H 15°20'												
r (10*2)	H 22°21'	V 67°39'		V 17°04'51"									
k (30*4)	H 31°40'												
o (70*6)	H 43°49'												
(50*4)	H 45°47'												
(40*3)	H 47°38'												
u (70*5)	H 49°01'												
(30*2)	H 50°38'												
(50*3)	H 53°53'												
A (70*4)	H 55°12'												
q (50*2)	H 64°03'												
z (30*1)	H 67°56'												
(40*1)	H 73°05'												
N (50*1)													
v (11*2)	H 35°27'	V 54°33'		V 18°31'									
(33*2)	H 64°55'												
(22*1)	H 70°39'												
(41*4)	H 43°17'												
i (21*2)	H 47°24'												
e (32*3)	H 50°04'												
l (32*2)	H 60°50'												
t (52*2)	H 68°43'												
p (41*2)													
B (90*5)	H 55°57'												
D (90*4)	H 61°37'												
E (80*3)	H 65°29'												
K (11.0*3)	H 71°39'												
L (10.0*1)	H 83°04'												
n (11.0*10)	H 42°08'												
G (10.0*3)	H 69°57'												
F (11.0*4)	H 66°09'												
H (72*0)	H 70°50'												
(26.0*25)	H 40°32'												
(43.0*40)	H 41°29'												
(19.0*10)	H 57°23'												
(15.0*7)	H 60°25'												

Inicial de autores que se citan:
 H Hintze (1924)
 R Rammelsberg (1856)
 V Vrba (1880)
 Z Zepharovich (1892)
 W Websky (1851)
 M Wagner y Marchand (1921)
 S Schabus (1857)
 P Penfield (1886)
 D Dana (1951)

Ángulos entre caras análogas
 Id. entre caras no análogas

x:x' (10*1:01*1)= H 37°02'
 P 37°
 V 37°02'01"
 W 37°03'02"

y:y' (20*1:02*1)= P 78°47'
 H 50°35'
 V 50°35'05"

r:r' (10*2:01*2)= H 21°55'
 V 21°55'20"

q:q' (50*2:05*2)= H 53°26'

z:z' (30*1:03*1)= H 55°13'
 V 55°12'18"

v:v' (11*2:12*2)= H 33°43'
 V 33°43'18"

s:s' (11*1:12*1)= H 48°19'
 V 48°18'42"

m:m' (10*0:10*0)= V 60°00'

ANEXO A LA TABLA IV: Apreciaciones del mismo ángulo por diversos

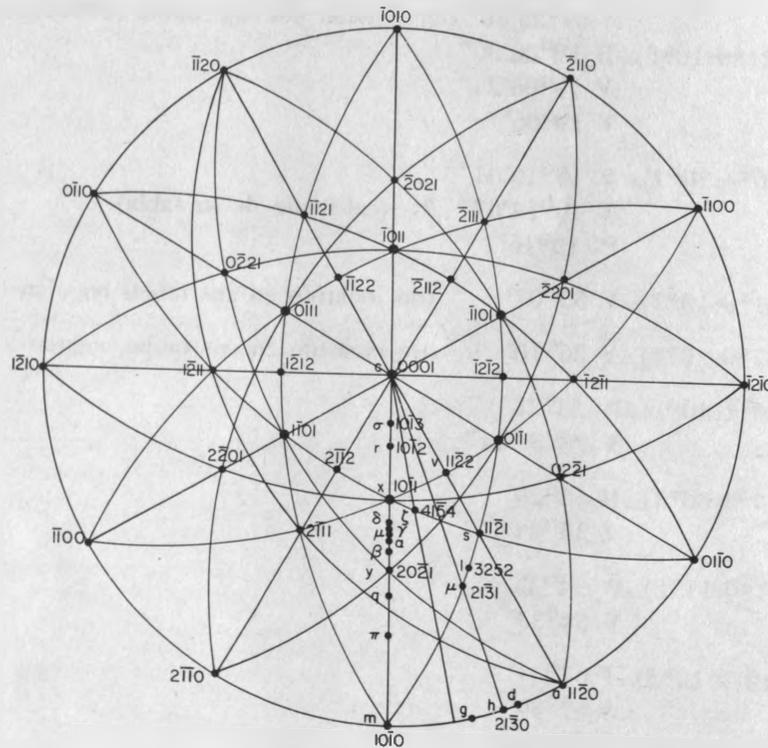
autores:

- x:c(10*1:00*1)= 39°26'
- R 39°24'30" (en función del áng. doble (10*1:10*1))
- V 39°25'056"
- M 39°30'
- S 39°24'30" (en función del áng. doble (10*1:10*1))
- P 39°23'30" (en función del áng. doble (10*1:10*1))
- h:m(21*0:10*0)=H 19°06'30"
- V 19°06'24"
- V 19°06'
- x:y(10*1:20*1)= V 19°16'04"
- V 19°14'07" ? (calculado de su tabla)
- P 19°16'
- h:x(21*0:10*1)=V 53°07' (no incluido en sus tablas angulares)
- h:y(21*0:20*1)=V 36°10' (no incluido en sus tablas angulares)
- x:z(10*1:30*1)=P 28°31'
- V 28°30'11"
- σ:c(10*3:00*1)=H 15°20'
- Z 15°49'45"
- a:v(11*0:11*2)=P 54°35'
- V 54°33'
- m:r(10*0:10*2)=P 67°41'
- V 67°39'
- m:x(10*0:10*2)=P 60°36'
- V 50°34'
- R 50°00'
- m:y(10*0:20*1)=P 31°20'
- V 31°18'
- x:s(10*1:11*1)= P 26°36'
- V 26°38'
- V 26°20'58"

continua

$$s:\mu(11^*1:21^*1)= \begin{array}{l} P 14^{\circ}01' \\ V 14^{\circ}02' \end{array}$$

$$m:u(10^*0:21:1)= \begin{array}{l} H 30^{\circ}51' \\ P 30^{\circ}52' \\ V 30^{\circ}50' \\ W 30^{\circ}49'38'' \end{array}$$



27—Esteriograma de un cristal de vanadinita (Schaller, 1905)

$$c:u(00^*1:21^*1)= \begin{array}{l} H 65^{\circ}19' \\ P 65^{\circ}17' \\ V 65^{\circ}19' \end{array}$$

$$m:h(21^*0^*10^*0)= \begin{array}{l} P 19^{\circ}06' \\ V 19^{\circ}06' \\ H 19^{\circ}06'30'' \end{array}$$

En la tabla general (tabla IV) se exponen comparativamente todos los diedros que han sido objeto de mediciones: este cuadro se refiere a los diedros calculados.

En los cristales de vanadinita de que se ha dispuesto para el presente estudio no han sido posibles las mediciones de todos los ángulos, sino únicamente los correspondientes a las caras más sencillas. Los demás diedros se han verificado mediante el cálculo matricial. En obsequio a la concisión de este trabajo se prescinde de la cita y crítica de los resultados obtenidos, para aducir únicamente los correspondientes a las coordenadas esféricas azimutales, más en consonancia con las modernas mediciones. (Cf. pág. 62).

b) Medición de coordenadas esféricas azimutales.

En los primeros 5 años del siglo se efectuaron los dos estudios goniométricos más importantes sobre vanadinita: uno por Goldschmidt quien descubre 13 formas nuevas de las consideradas hasta entonces, y el otro por Schaller quien añade aún 14 más y 4 vecinales. Tanto uno como otro autores realizan sus mediciones en coordenadas esféricas azimutales y citan los ángulos correspondientes, φ , π . Aparte de ellos, Goldschmidt aduce como ejemplo de cálculos goniométricos de cristales hexagonales a la vanadinita.

En la tabla V se exponen las observaciones de Goldschmidt. Es de recordar que siguiendo en este trabajo las designaciones de las caras que acepta Hintze, se han traducido en esta tabla las letras de las caras que difieren en Goldschmidt.

Esta última observación vale asimismo para la tabla de valores angulares de Schaller (tabla VII).

El cuadro general de coordenadas azimutales expone comparativamente los valores angulares calculados por estos dos últimos autores y los otros que se han publicado posteriormente. (Tabla VIII)

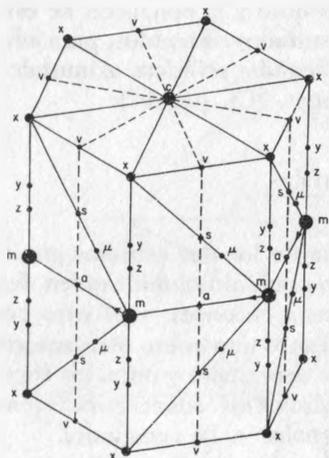
Son oportunas las siguientes observaciones:

1° Los valores citados por Penfield se refieren quizás a ejemplares de endlichita.

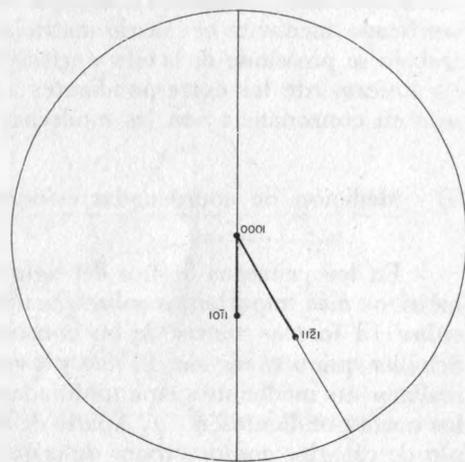
2° Las designaciones de las caras por letras se han uniformado con las que se llevan en este estudio (las aceptadas por Hintze) para evitar equívocos.

3° El origen de los arcos φ se acepta como el del polo (11^*0) , que suele ser el más admitido actualmente: así lo hacen Berman, Palache y Frondel en su Dana's System of Mineralogy. Como Goldschmidt, Schaller y Penfield colocan el origen de φ en (10^*0) , se ha hecho la transformación correspondiente.

4^o Las listas de valores de Goldschmidt y de Schaller tienen algo de sospechoso: parece haber un entendimiento entre ambos para lograr tan perfecta igualdad. Leyendo atentamente los trabajos se tiene la impresión de ser el primero quien copia al segundo; más la fecha de publicación aboga por lo contrario. Aquí se admiten los resultados sin buscar más explicaciones.



28—Disposición de las caras en los cristales de vanadinita (Goldschmidt, 1900)



29—Esquema de las dos formas de calcular la relación paramétrica de cristales exagonales

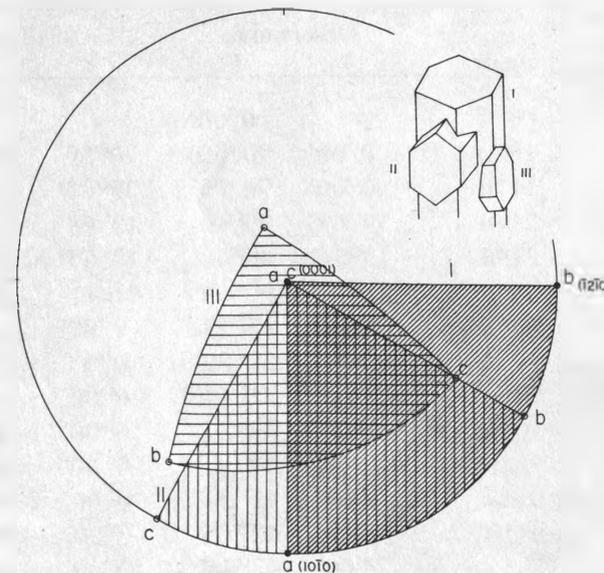
TABLA V. Mediciones de ψ , π de Goldschmidt (1900)

$c = 1.2335$ $a = 1.4042$ $P_0 = 0.8229$ (G.)

Nº	Cara	Símbolo		
1	c	00*1	—	0°00'
2	m	10*0	0°00'	90°00'
3	a	11*0	30°00'	90°00'
4	h	21*0	19°06'	90°00'
5	g	31*0	13°54'	90°00'
6	f	51*0	8°57'	90°00'
7	σ	10*3	0°00'	15°20'

continua

8	r	10*2	0°00'	22°21'
9	x	10*1	0°00'	39°26'
10	δ	50*4	0°00'	45°47'
11	γ	40*3	0°00'	47°38'
12	α	30*2	0°00'	50°58'
13	β	50*3	0°00'	53°53'



30—Estreograma de un grupo de cristales de vanadinita, con maclas de penetración.

14	y	20*1	0°00'	58°42'
15	q	50*2	0°00'	64°03'
16	z	30*1	0°00'	67°56'
17	π	40*1	0°00'	73°05'
18	v	11*2	30°00'	35°27'
19	s	11*1	30°00'	54°55'
20	ζ	41*4	10°53'	43°17'
21	i	21*2	19°06'	47°24'
22	e	32*3	23°25'	50°04'

TABLA VII.— Coordenadas esféricas azimutales.

Indicatriz de los diferentes autores:

G=Goldschmidt(1900); S=Schaller(1905); P=Penfield(1886); D=Dana(1951); F=Fabregat(1967)

	φ					π				
	G	S	P	D	F	G	S	P	D	F
c(00*1)	—	—	—	—	—	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'00"
m(10*0)	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'00"	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'00"
a(11*0)	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'00"	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'00"
h(21*0)	10°54'	10°54'	—	10°53 _{1/2}	10°53'36"	90°00'	90°00'	—	90°00'	90°00'00"
r(10*2)	30°00'	30°00'	30°00'	—	30°00'00"	22°21'	22°21'	22°16'	—	22°19'23"
x(10*1)	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'00"	39°26'	39°26'	39°22'	39°26'	39°23'35"
y(20*1)	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'00"	58°42'	58°42'	58°41'	58°42'	58°39'52"
q(50*2)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	64°03'	64°03'	—	—	64°01'47"
z(30*1)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	67°56'	67°56'	—	—	67°54'26"
v(11*2)	0°00'	0°00'	—	—	0°00'00"	35°27'	35°27'	—	—q	35°25'11"
s(11*1)	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'00"	54°55'	54°55'	54°55'	54°55 _{1/2}	54°53'27"
u(21*1)	10°54'	0°00'	10°47'	10°53 _{1/2}	10°53'36"	65°19'	65°19'	65°15'	65°19'	65°17'07"
n(10*3)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	15°20'	15°20'	—	—	15°18'31"
g(31*0)	16°06'	16°06'	—	—	16°06'07"	90°00'	90°00'	—	—	90°00'00"
f(51*0)	21°03'	—	—	—	21°03'06"	90°00'	—	—	—	90°00'00"
λ(50*4)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	45°47'	45°47'	—	—	45°44'58"
τ(40*3)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	47°38'	47°38'	—	—	47°35'41"
α(30*2)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	50°58'	50°58'	—	—	50°55'47"
β(50*3)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	53°53'	53°53'	—	—	53°50'49"
ζ(41*4)	10°07'	19°07'	—	—	19°06'23"	43°17'	43°17'	—	—	43°15'11"
e(32*3)	6°35'	—	—	—	6°35'12"	50°04'	—	—	—	50°02'02"
l(32*2)	6°35'	6°35'	—	—	6°35'12"	60°50'	—	—	—	60°48'24"
t(52*2)	13°54'	—	—	—	13°53'52"	68°43'	—	—	—	68°41'42"
p(41*2)	19°07'	—	—	—	19°06'23"	62°02'	—	—	—	62°00'40"
k(30*4)	—	30°00'	—	—	30°00'00"	—	31°40'	—	—	31°37'40"
i(21*2)	10°04'	—	—	—	10°53'36"	47°24'	—	—	—	47°22'12"
π(40*1)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	73°05'	73°05'	—	—	73°04'05"
d(43*0)	—	8°13'	—	—	8°12'47"	—	90°00'	—	—	90°00'00"
o(70*6)	—	30°00'	—	—	30°00'00"	—	43°49'	—	—	43°46'24"
u(70*5)	—	30°00'	—	—	30°00'00"	—	49°01'	—	—	48°58'59"

(	G	S	P	D	F	G	S	P	D	F
A(70*4)	—	30°00'	—	—	30°00'00"	—	55°12'	—	—	55°10'05"
H(70*2)	—	30°00'	—	—	30°00'00"	—	70°50'	—	—	70°48'58"
K(11.0*3)	—	30°00'	—	—	—	—	71°39'	—	—	—
L(10.0*1)	—	30°00'	—	—	—	—	83°04'	—	—	—
n(11.0*10)	—	30°00'	—	—	—	—	42°08'	—	—	—
B(9.0*5)	—	30°00'	—	—	—	—	55°57'	—	—	—
D(9.0*4)	—	30°00'	—	—	—	—	61°37'	—	—	—
E(8.0*3)	—	30°00'	—	—	—	—	65°29'	—	—	—
G(10.0*3)	—	30°00'	—	—	—	—	69°57'	—	—	—
F(11.0*4)	—	30°00'	—	—	—	—	66°09'	—	—	—

El ángulo φ de Schaller es probablemente un error: debe ser de 10°54'.

Penfield dice medir cristales de endlichita al dar los valores citados en la tabla.



31—Gráfica del análisis fotoespectroscópico por fluorescencia.

TABLA VII. — Coordenadas esféricas azimutales.

Indicatriz de los diferentes autores:

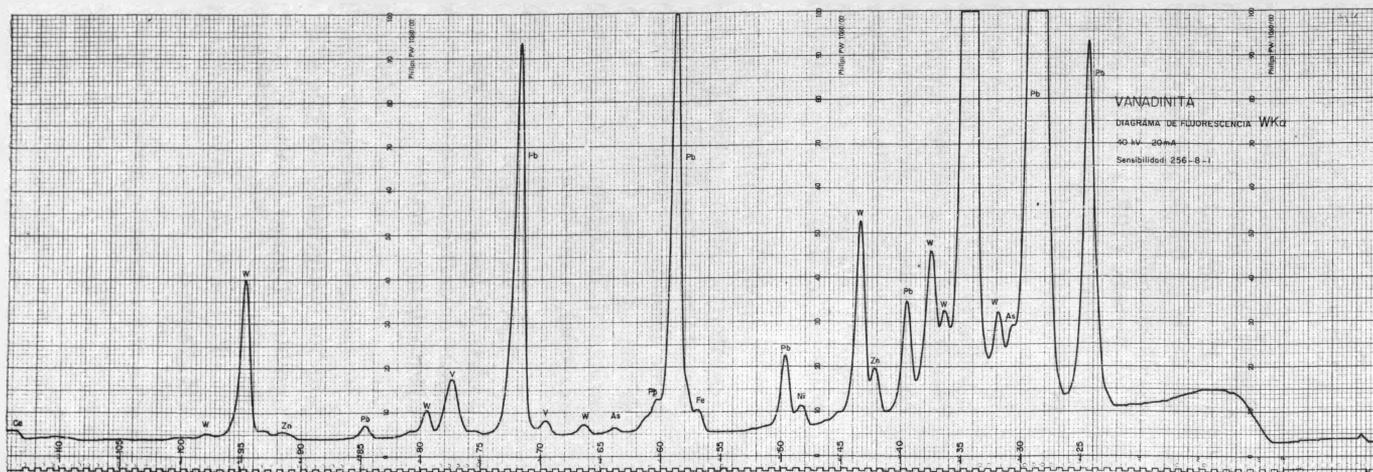
G=Goldschmidt(1900); S=Schaller(1905); P=Penfield(1886); D=Dana(1951); F=Fabregat(1967)

	G	S	P	D	F	G	S	P	D	F
c(00*1)	—	—	—	—	—	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'00"
m(10*0)	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'00"	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'00"
a(11*0)	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'00"	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'00"
h(21*0)	10°54'	10°54'	—	10°53 1/2	10°53'36"	90°00'	90°00'	—	90°00'	90°00'00"
r(10*2)	30°00'	30°00'	30°00'	—	30°00'00"	22°21'	22°21'	22°16'	—	22°19'23"
x(10*1)	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'00"	39°26'	39°26'	39°22'	39°26'	39°23'35"
y(20*1)	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'	30°00'00"	58°42'	58°42'	58°41'	58°42'	58°39'52"
q(50*2)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	64°03'	64°03'	—	—	64°01'47"
z(30*1)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	67°56'	67°56'	—	—	67°54'26"
v(11*2)	0°00'	0°00'	—	—	0°00'00"	35°27'	35°27'	—	—	35°25'11"
s(11*1)	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'00"	54°55'	54°55'	54°55'	54°55 1/2	54°53'27"
μ(21*1)	10°54'	0°00'	10°47'	10°53 1/2	10°53'36"	65°19'	65°19'	65°15'	65°19'	65°17'07"
α(10*3)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	15°20'	15°20'	—	—	15°18'31"
g(31*0)	16°06'	16°06'	—	—	16°06'07"	90°00'	90°00'	—	—	90°00'00"
f(51*0)	21°03'	—	—	—	21°03'06"	90°00'	—	—	—	90°00'00"
δ(50*4)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	45°47'	45°47'	—	—	45°44'58"
τ(40*3)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	47°38'	47°38'	—	—	47°35'41"
ι(30*2)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	50°58'	50°58'	—	—	50°55'47"
β(50*3)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	53°53'	53°53'	—	—	53°50'49"
ζ(41*4)	10°07'	19°07'	—	—	19°06'23"	43°17'	43°17'	—	—	43°15'11"
e(32*3)	6°35'	—	—	—	6°35'12"	50°04'	—	—	—	50°02'02"
l(32*2)	6°35'	6°35'	—	—	6°35'12"	60°50'	—	—	—	60°48'24"
t(52*2)	13°54'	—	—	—	13°53'52"	68°43'	—	—	—	68°41'42"
p(41*2)	19°07'	—	—	—	19°06'23"	62°02'	—	—	—	62°00'40"
k(30*4)	—	30°00'	—	—	30°00'00"	—	31°40'	—	—	31°37'40"
i(21*2)	10°04'	—	—	—	10°53'36"	47°24'	—	—	—	47°22'12"
π(40*1)	30°00'	30°00'	—	—	30°00'00"	73°05'	73°05'	—	—	73°04'05"
d(43*0)	—	8°13'	—	—	8°12'47"	—	90°00'	—	—	90°00'00"
ο(70*6)	—	30°00'	—	—	30°00'00"	—	43°49'	—	—	43°46'24"
υ(70*5)	—	30°00'	—	—	30°00'00"	—	49°01'	—	—	48°58'59"

(	G	S	P	D	F	G	S	P	D	F
A(70*4)	—	30°00'	—	—	30°00'00"	—	55°12'	—	—	55°10'05"
H(70*2)	—	30°00'	—	—	30°00'00"	—	70°50'	—	—	70°48'58"
K(11.0*3)	—	30°00'	—	—	—	—	71°39'	—	—	—
L(10.0*1)	—	30°00'	—	—	—	—	83°04'	—	—	—
n(11.0*10)	—	30°00'	—	—	—	—	42°08'	—	—	—
B(9.0*5)	—	30°00'	—	—	—	—	55°57'	—	—	—
D(9.0*4)	—	30°00'	—	—	—	—	61°37'	—	—	—
E(8.0*3)	—	30°00'	—	—	—	—	65°29'	—	—	—
G(10.0*3)	—	30°00'	—	—	—	—	69°57'	—	—	—
F(11.0*4)	—	30°00'	—	—	—	—	66°09'	—	—	—

El ángulo φ de Schaller es probablemente un error: debe ser de 10°54'.

Penfield dice medir cristales de endlichita al dar los valores citados en la tabla.



31—Gráfica del análisis fotoespectroscópico por fluorescencia.

CLASE CRISTALINA

Exagonal, hemiedría paramórfica

El primer autor que observó como hemiedría las caras h , μ , fue Penfield (1886), decidiendo por ellas que los cristales de vanadinita debían pertenecer a la clase piramidal hemiédrica (C_6-6-H_5 : exagonal tetartoédrica), en la que se la ha tenido por mucho tiempo, aunque realmente fuese de la hemiedría paramórfica.

Websky (1881) cita la presencia de la cara μ (21*1) en los ejemplares que examina, aunque sin darle la importancia de diagnóstico. El desarrollo de las caras h (21*0) da a los cristales un aspecto tabular.

Al examinar la tabla general de las formas de vanadinita (Cf. pág. 62) estudiadas, se nota que los otros dos autores que las reconocieron como formas nuevas fueron Goldschmidt (1900) y Schaller (1905). El primero publicó un estudio cristalométrico muy completo sobre vanadinita (que él tuvo por endlichita) de Hillsboro, Nuevo México, y le reconoció una calidad de exagonal tetartoédrica, cual había ya sido prevista por Penfield 16 años antes: el nudo o zonal μ (21*1) es el portador de la meroedría.

Schaller (1905) se limita a la medición goniométrica de las formas, sin describirlas, incluye en su lista de valores angulares las coordenadas esféricas azimutales. Luego de él, han sido reconocidas por varios autores entre sus caras medidas, aunque sin decidir nada tampoco sobre su calidad hemiédricas; hasta que Lietz (1931) afirma explícitamente a la vanadinita como piramidal hemiédrica y Larsen y Berman (1934), Argall (1943) como exagonal prismática.

La evidencia morfológica no es muy clara, y si se han aceptado las sospechas de los autores clásicos es por hallar su confirmación en las pruebas físicas de corrosión a que se han sometido estos cristales (tanto de vanadinita cuanto de mimetesita).

La decisión definitiva sobre su grupo puntual tuvo que esperar los estudios röntgenológicos que se efectuaron (Trotter y Barnes, 1958) para determinar el grupo espacial $C_{6h}^2 - P 6_3/m - H_4^2$, en el que se basa su estructura.

En conclusión, la vanadinita pertenece a la clase hemiédrica paramórfica del exagonal.

RELACION PARAMETRICA

$$a : c = 1.406101$$

$$c : a = 0.711186$$

I. Relación paramétrica morfológica. En los cristales exagonales se puede calcular la relación paramétrica a partir de dos ángulos diferentes:

$$\text{tg}(00^*1:10^*1) = \frac{c}{a \cos 30^\circ} \quad ; \quad \frac{c}{a} = \text{tg}(00^*1:10^*1) \cdot \cos 30^\circ$$

$$\text{tg}(00^*1:11^*1) = \frac{c}{a : 2} \quad ; \quad \frac{c}{a} = \frac{1}{2} \text{tg}(00^*1:11^*1)$$

A. Emplean el primer procedimiento de cálculo:

1º. Rammelsberg (1856), a partir de $(10^*1:10^*0) = 50^\circ 00'$, que obtiene $c:a = 0.726682$.

Tomando su ángulo complementario $(10^*1:00^*1) = 40^\circ 00'$
 $c:a = \text{tg}(00^*1:10^*1) \cos 30^\circ =$
 $= 0.8390996 \cdot 0.8660254 = 0.7266815$

2º. Schabus (1857), calcula a partir de $(10^*1:\bar{1}0:1) = 78^\circ 49'$ el valor de $c:a = 0.711572$

Tomando el ángulo mitad, $(10^*1:00^*1) = 39^\circ 24' 30''$,
 $c:a = 0.8216529 \cdot 0.8660254 = 0.7115722$

3º. Vrba (1880), calcula basándose en su ángulo $(10^*1:00^*1) = 39^\circ 25' 56''$, $c:a = 0.712177$.

$$c:a = 0.8223515 \cdot 0.8660254 = 0.7121772$$

4º. Websky (1881), halla coincidencia con el resultado anterior, aunque no repite los cálculos.

5º. Penfield (1886) calcula por este procedimiento la relación paramétrica de la endlichita, y en el mismo trabajo, más por otro camino, la de vanadinita

6º. Goldschmidt (1900), da por este procedimiento, $c:a = 0.7126$

7º. Schaller (1905), confirma la relación de Vrba.

8º. Groth (1908) dice citar a Vrba en sus mediciones, mas con valor de $c:a = 0.7122$

9°.Wagner y Marchand(1921), del ángulo $(10^{\circ}1:00^{\circ}1) = 39^{\circ}30'$ dan
 $c:a = 0.8243364 \cdot 0.8660254 = 0.7138962$.

10°.Hintze(1924), a partir de su tabla de ángulos obtiene

$$c:a = 0.71218.$$

Para este autor, $(00^{\circ}1:10^{\circ}1) = 39^{\circ}26'$,

$$c:a = 0.8223840 \cdot 0.8660254 = 0.7122054$$

al mayor que el citado.

11°.Fabregat(1966), a partir de $(10^{\circ}1:00^{\circ}1) = 39^{\circ}23'34''$, valor bastante próximo al de Schabus, obtiene $c:a = 0.7111784$

$$c:a = 0.8211981 \cdot 0.8660254 = 0.7111784$$

que es el resultado más cercano a la relación paramétrica estructural.

B. Emplean el segundo procedimiento:

1°.Penfield(1886), a partir de $(11^{\circ}0:11^{\circ}1) = 35^{\circ}06' \frac{1}{2}$, calcula $c:a = 0.71121$, afirmando muy gratuitamente concordar con Schabus (1857) y con Vrba(1880); con el primero sólo coinciden las tres primeras cifras decimales y con el segundo, quizás intercaló erróneamente un 1 entre la segunda y la tercera decimales. En efecto, deduciendo el ángulo complementario al dado, $(11^{\circ}1:00^{\circ}1) = 54^{\circ}53'30''$,

$$c:a = \frac{1}{2} \operatorname{tg}(00^{\circ}1:11^{\circ}1) =$$

$$= 1.4224163 : 2 = 0.7112081$$

2°.Goldschmidt(1900), también obtuvo resultado por este procedimiento.

C. En resumen, algunas de las relaciones propuestas son

Rammelsberg	0.7266815
Schabus	0.7115722
Vrba	0.7121772
Goldschmidt	0.7126
Groth	0.7122
Hintze	0.7122054
Wagner y Marchand	0.7138962
Fabregat	0.7111784
Penfield	0.7112081

Promedio: 0.7137465

mas si se prescinde de los valores de Rammelsberg y de Wagner que son los que más se apartan de las otras apreciaciones, el promedio resulta ser $c:a = 0.711877$, acercándose más al determinado con este trabajo, que es el menor de los obtenidos.

II. Relación paramétrica estructural. Teniendo en cuenta las determinaciones logradas por los diagramas de precesión de Buerger, ecuatorial y de equi-inclinación de Weissenberg, así como las deducidas por la forma cuadrática a partir del diagrama de polvo, se obtuvieron las traslaciones.

$$a^0 = 10.325 \text{ \AA} \quad ; \quad c_0 = 7.343 \text{ \AA}$$

de donde,

$$a : c = 1.406101 \quad ; \quad c : a = 0.711186$$

quedando justificada esta relación paramétrica.

MATRICES DIRECTA M y RECIPROCA M*

Las matrices de Bond correspondientes a los cristales exagonales son,

$$M = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & c \end{bmatrix} \quad M^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \sqrt{\frac{1}{3}} & \sqrt{\frac{2}{3}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{c} \end{bmatrix}$$

las que aplicadas al caso concreto de los cristales de vanadinita, con las constantes reticulares admitidas, . . .

$$a_0 = 10.325 \text{ \AA} \quad c_0 = 7.34 \text{ \AA} \quad ; \quad \frac{a}{c} = 1 : 0.711186$$

$$M = \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0.866050 & 0 \\ 0 & 0 & 0.711186 \end{bmatrix}$$



$$M^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.577350 & 1.154701 & 0 \\ 0 & 0 & 1.406101 \end{bmatrix}$$

que son las aplicadas en este trabajo al estudio cristalométrico de vanadinita

A estas dos matrices tan importantes para los cálculos, se suelen adjuntar las llamadas tensor métrico directo G y tensor métrico inverso G^{-1} :

$$G = \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & 0 \\ -0.5 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.505786 \end{bmatrix}$$

$$G^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -0.5 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1.482842 \end{bmatrix}$$

Todas estas matrices fueron calculadas mediante el programa FABREG 10, en FORTRAN, para computadoras electrónicas.

EL HUECO DE LOS CRISTALES DE VANADINITA.

El primero en observar algunos cristales columnares huecos de vanadinita fue Zepharovich (1865). Notó que los cristales columnares más gruesos eran huecos y rellenos en su fondo por vanadinita celular.

Vrba (1880) también realiza esas mismas observaciones en dos de sus cristales columnares más gruesos, interpretando la oquedad como representante de un protoprisma negativo que aboca en un exágono concéntrico, cuyas aristas parecen cortadas por las caras x . Reconoció que la concavidad se hallaba rellena en su fondo por vanadinita celular.

Esas formas huecas de vanadinita se observan frecuentemente entre los ejemplares mexicanos. En particular, los ejemplares de la Sierra de Los Lamentos se constituyen por haces de prismas, unas veces paralelos y otros en disposición angular (verdaderas maclas), algunos de ellos llenos y otros huecos. El aspecto general es el llamado ruiniforme, dando el aspecto de torres almenadas muy características.

Para la investigación racional de esas oquedades se eligieron 6 cristales provenientes de el Brasil, dado que los ejemplares mexicanos que se estudian son mucho mayores y no adaptables a las mediciones goniométricas.

Al hacer los registros estereográficos correspondientes se nota que sus formas, de aparente riqueza, se pueden reducir a unas cuantas piramidales y prismáticas muy sencillas. Todos los ejemplares demostraron ser asociaciones uniáxicas, dentro de una misma agrupación prismática.

En la relación que sigue de los 6 cristales observados, las caras subrayadas se refieren a los prismas que condicionan el entrante de las agrupaciones.

CRISTAL I. Asociación uniáxica de 5 individuos Π $\{00^*1\}$

Nº	Prismas					Pirámides	
	<u>12*0</u>	<u>10*0</u>	<u>10*0</u>	<u>21*0</u>	<u>11*0</u>	<u>42*3</u>	<u>22*3</u>
1.	<u>12*0</u>	<u>10*0</u>	<u>10*0</u>	<u>21*0</u>	<u>11*0</u>	<u>42*3</u>	<u>22*3</u>
2.	<u>11*0</u>	<u>11*0</u>					
3.	<u>01*0</u>	<u>11*0</u>	<u>01*0</u>	<u>10*0</u>	<u>21*0</u>	<u>11*0</u>	<u>01*1</u>
4.	<u>11*0</u>	<u>12*0</u>	<u>01*0</u>	<u>12*0</u>			
5.	<u>12*0</u>	<u>01*0</u>	<u>10*0</u>	<u>21*0</u>	<u>11*0</u>		<u>01*1</u>

cuyos desplazamientos sucesivos del eje Π cristalográfico de cada uno de los individuos se apreció aproximadamente como sigue en el estereograma:

Individuos Nº	1	2	3	4	5
Desplazamiento		10°20'	11°40'	4°45'	2°50'

Es de hacer notar con respecto a las formas piramidales (42*3) y (22*3) del cristal sencillo Nº 1, que no se volvieron a presentar en los otros individuos medidos ni han aparecido nunca en cristales de vanadinita. Además la falta de coincidencia perfecta entre sus valores angulares observados y calculados, permite sean aceptados sólo con reservas.

CRISTAL II. Asociación uniaxial de 5 individuos. II [00*1]

Nº	Prismas					Pirámides		
1.	$\bar{1}0*0$							
2.	$\bar{1}2*0$	$01*0$	$10*0$	$\bar{1}\bar{1}*0$	$0\bar{1}*0$	$\bar{1}\bar{1}*0$	$01*1$	$10*1$
3.	$\bar{1}\bar{1}*0$	$\bar{1}2*0$	$0\bar{1}*0$	$\bar{1}0*0$				
4.	$11*0$	$\bar{1}\bar{1}*0$						
5.	$\bar{2}1*0$	$\bar{1}\bar{1}*0$						

con desplazamientos sucesivos del eje II cristalográfico de cada uno de los individuos, apreciados aproximadamente en:

Individuo	:	1	2	3	4	5
Desplazamiento	:	$2^{\circ}40'$	$1^{\circ}30'$	8°	2°	

CRISTAL III. Asociación uniaxial de dos individuos. II [00*1]

Nº	Prismas			Pirámides	Pinacoides
1.	$10*0$	$\bar{1}0*0$	$\bar{1}\bar{1}*0$	$01*1$	$00*1$
2.	$01*0$	$1\bar{1}*0$	$0\bar{1}*0$	$\bar{1}0*0$	$00*1$

Carece de ángulos entrantes. El desplazamiento por orientación de los dos individuos con respecto a la dirección del eje II cristalográfico es de :

Individuo Nº	:	1	2
Desplazamiento	:	$3^{\circ}30'$	

CRISTAL IV. Cristal sencillo, sin asociación alguna.

Nº	Prismas				01	Pinocoides	
1.	$01*0$	$10*0$	$\bar{1}\bar{1}*0$	$0\bar{1}*0$	$\bar{1}0*0$	$\bar{1}\bar{1}*0$	$00*1$

Pirámides

$01*1$ $10*1$ $\bar{1}\bar{1}*1$ $\bar{1}0*1$ $\bar{1}\bar{1}*1$

Carece de ángulos entrantes.

CRISTAL V. Asociación uniaxial de 2 individuos. II [00*1]

Nº	Prismas		Pirámides			Pinacoides
1.	$0\bar{1}*0$					$00*1$
2.	$01*0$	$\bar{1}\bar{1}*0$	$01*1$	$10*1$	$\bar{1}\bar{1}*1$	$00*1$

Carece de ángulos entrantes. Con desplazamiento por orientación de ambos individuos con respecto a la orientación del eje II:

Individuo Nº	:	1	2
Desplazamiento	:	25°	

CRISTAL VI. Asociación uniaxial de 3 individuos. II [00*1]

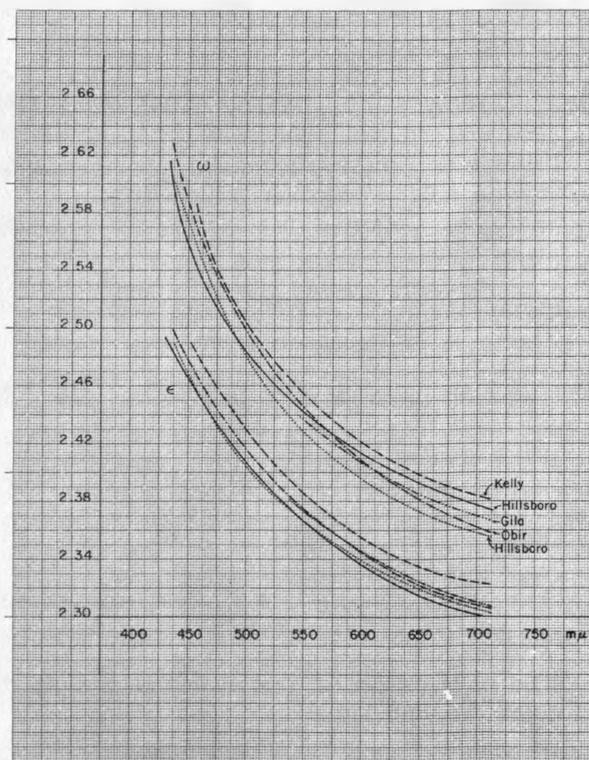
Nº	Prismas			
1.	$\bar{1}2*0$	$\bar{1}\bar{1}*0$		
2.	$\bar{1}2*0$	$11*0$	$2\bar{1}*0$	$\bar{2}1*0$
3.	$\bar{1}2*0$	$\bar{1}\bar{1}*0$		

Sin caras prismáticas ni pinacoidales. Con el desplazamiento del eje II por orientación mutua de los individuos:

Individuo Nº	:	1	2	3
Desplazamiento	:	4°	$3^{\circ}15'$	

MACLAS:

Smith (1890), halla en la vanadinita de Alice Mine del Silver District Arizona, unas asociaciones de macla ternaria (drillinge) según $m(10\bar{1}0)$, aunque no las define con seguridad y Hintze las tiene como agregados paralelos uniáxicos.



32—Sinópsis gráfica de los índices de refracción determinados por Lietz (1931).

Entre los cristales hallados por Barthoux (1922) en Marruecos, cita las “asociaciones polisintéticas de individuos de vanadinita, soldados por la cara p”, y cristales rojo-pardos aplanados según (0001) en macla también sencilla por esa misma cara.

En los cristales de la Sierra de Los Lamentos se hallan numerosos individuos en posición de macla de penetración, mas entre los ejemplares medidos no se ha podido precisar tal constancia que defina una ley. Se empleó a tal objeto el goniómetro teodolítico de aplicación de Stoe, pretendiendo únicamente lograr un esquema, de manera que los valores han de tenerse como aproximados. Se aprecian en su mayoría maclas con respecto a un plano, que además del prisma es frecuente la cara de las pirámides más empinadas. En la fig. 30 se representan dos de los grupos maclados que se examinaron: en el estereograma se indican los individuos por sus coordenadas ortoexagonales, $a(10.0)$, $b(12.0)$ y $c(0001)$ para simplificar el trazado.

ALTERACION DE ANGULOS POR CAMBIOS DE TEMPERATURA.

En la piromorfita y la mimetesita halló Eissner (1913) una alteración de $3/4'$ a $3'$ en el valor de los diedros por cada 100° de temperatura, con curvas de variación de recorrido rectilíneo. En sustancias artificiales se experimentaron algunas modificaciones a 710° .

CRISTALES ARTIFICIALES.

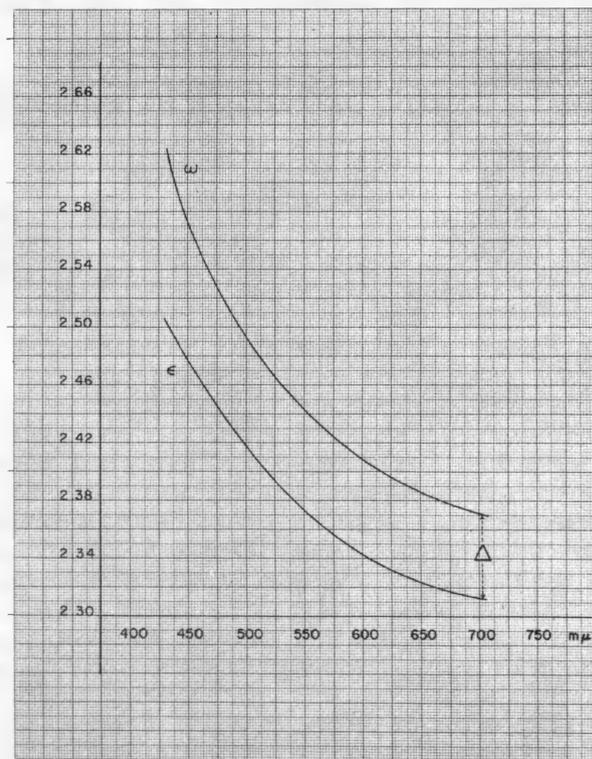
Debray (Comp. Rend. Acad. Sc., Paris 52(1861)43), obtuvo por vez primera cristales de apatito calentando sobre 250° una mezcla de fosfato ácido de calcio con una solución de cloruro de sodio. Al aumentar la presión en el tubo de fusión cerrado al soplete, empleando sales de amonio, que tienen gran poder disolvente por su disociación a temperatura elevada, y utilizando una mezcla de cloruro de calcio, fosfato de amonio y cloruro de amonio en exceso, se obtienen por lo general cristales regularmente grandes de apatito, a las pocas horas y manteniendo su temperatura por sobre 150° — 180° .

Debray logró así prismas exagonales con caras de pirámide (y a veces aún las bases) independientes y en formas estelares.

La piromorfita se aísla difícilmente y sólo en cristales individuales, mal formados.

Entre los vanadatos, las sales de Ba y de Ca dieron una mezcla de cristales exagonales con monoclinicos. El vanadato de plomo no cristalizó por este procedimiento.

Weinschenk (1857) empleó en consecuencia una modificación al método, ideada por Becquerel (Comp. Rend, Acad. Sc., Paris. 44(1857)938), haciendo que se formara el depósito de las referidas sales antes de elevar la temperatura: así resultó un precipitado cristalino que en otras condiciones hubiera sido amorfo. Para ello se colocan los reactivos en un tubo de vidrio de paredes finas, se suelda y se le introduce con la solución salina correspondiente dentro de otro de paredes gruesas. Para el caso que interesa, se introduce el fosfato ácido de amonio en el tubo incluido.



33—Representación gráfica de los valores promedio de los índices de refracción de vanadinita (Lietz, 1931)

Lietz (1931) trató vanadato de plomo con exceso de cloruro de plomo en una cápsula cubierta de porcelana sin barnizar, en horno eléctrico a 900° hasta fusión; luego a 700° durante 2 horas, seguido de enfriado lento.

Al lavar en agua aparecen cristales amarillos brillantes; si bien muy pequeños para ser orientados en preparación óptica.

Los cristales mostraron principalmente caras de prismas con sus cabos rotos. Midiéronse los prismas en el goniómetro, con desviaciones desde 2°39'. Se les obtuvo un diagrama de polvo de Debye, logrando la coincidencia de los arcos de difracción con el obtenido a partir de la muestra de vanadinita de Obir.

Así logró obtener Weinschenk que sales de plomo diesen agujas exagonales de piromorfita; también los arseniatos de plomo dieron mimetesita, y hasta obtuvo vanadinita, aunque en cristales menos bien formados.

Durand (1958) efectuó la síntesis de la vanadinita imitando el proceso que supone seguir su mineralogénesis en la naturaleza (Cf. pág. 35) y obtuvo un precipitado cristalino lento, que los rayos X identificaron como de vanadinita.

ISOMORFISMO.

Se tiene a la vanadinita como isomorfa con piromorfita, con mimetesita, con apatito (fluorapatito y clorapatito), y hasta se la ha citado serlo de la endlichita.

Hablando de los cristales de Pinal County, Arizona, en los que descubre Penfield (1886) las formas h y μ determinantes de la mereodría de la vanadinita, afirma este autor sus relaciones de hábito con los cristales de apatito.

También Guild (1911) reconoce las relaciones isomorfas de vanadinita.

Aunque tales relaciones isomorfas hayan sido admitidas por otros varios autores de forma más o menos implícita, son proclamadas claramente por los trabajos de Lietz (1931) y por los de Hendricks, Jefferson y Mosley (1932) llegando con éstos hasta afirmar su isotipia al asignar a la vanadinita la misma estructura que a las otras especies del grupo mineralógico. Hipótesis ésta confirmada por Trotter y Barnes (1958).

Las constantes de los principales miembros isomorfos son (Strunz 1949);

Grupo del apatito: Exagonal, hiemiedría paramórfica.

	C_{6h}^2	—	$C_{63/m}$	—	H_4^2	$Z = 2$
Apatito	$a_o = 9.36$		$c_o = 6.85$		$c_o / a_o = 0.732$	
Wilkeíta	9.48		6.91		0.729	

Ellestadita	9.53	6.91	0.725
Britholita	9.61	7.02	0.730
Francolita	9.34	6.89	0.738
Svabita	9.70	6.95	0.716
Piromorfita	9.95	7.32	0.736
Mimetesita	10.36	7.52	0.726
Vanadinita	10.47	7.43	0.710

INDICE DE BARKER (Poster y Spiller, 1951)

VANADINITA $PbCl_2 \cdot 3 Pb_3 (VO_4)_2$

Bleichlorovanadat (Groth II,1827; Mellor IX,809)

H.329 $39^{\circ}26'$ Sin transformación

$$\{10^*0\}m \quad \{00^*1\}c \quad \{11^*0\}a \quad \{10^*1\}o \quad \{21^*1\}x$$

$$a : c = 1 : 0.7122 \quad (00^*1 : 10^*1) = 39^{\circ}26'$$

Simetría: $6/m \quad C_{6h}$

Formas: $m \{10^*0\} \quad c \{00^*1\} \quad a \{11^*0\} \quad o \{10^*1\} \quad x \{21^*1\}$

Hábito: m, c, o, a, x ; prismático

Prop. físicas: densidad 6.88

Prop. ópticas: Birrefringencia negativa $\epsilon = 2.299$ (rojo)
 $\alpha = 2.354$ (rojo)

Bowman. Min.Mag. 13(1903)328

Fórmula de transformación: a H 329, sin transformación.

Rayos X: ASTM 2.95 3.00 1.55

Según los datos obtenidos en el presente trabajo:

VANADINITA $Pb_5 [Cl (VO_4)_3]$

H.329 $39^{\circ}29'35''$ Sin transformación

$$\{10^*0\}m \quad \{00^*1\}c \quad \{11^*0\}a \quad \{10^*1\}o \quad \{21^*1\}\mu$$

$$c_o : o_o = (00^*1 : 10^*1) = 39^{\circ}23'35''$$

$$a_o = 10.325 \quad ; \quad c_o = 7.734 \quad A \quad ; \quad c_o/a_o = 0.711186$$

Simetría: $C_{6h}^2 - P 6_3/m - H_4^2$

Exagonal, hemiedría paramórfica

Formas: m(10*0), c(00*1), x(10*1), y(20*1), a(11*0), μ (21*1)

Hábito: m, c, x, y, a, μ ; prismático.

Propiedades: Prop.Físicas: densidad (obs)= 6.914 ; dens.(c)=6.936

Prop. ópticas: $\epsilon = 2.360$ $\Delta = - 60$
 $\omega = 2.420$

$$2V = 3^{\circ} - 7^{\circ}$$

Matriz de transformación: ninguna

Diagrama de polvo (rayos X): 2.977 3.063 3.365 / 100 85 60

INDICE DE DONNAY

VANADINITA . Exagonal

c/a	a	c	Gr.esp.	Z	Tip.estr.	Densidad	
						obs.	calc.
0.7100	10.47	7.43	P 6 ₃ /m 2	H 5 ₇		6.88	
			Pb ₅ Cl(VO ₄) ₃		Struktber. II.99.457		

(c/a)gon. — 0.7122

0.7119 10.31₂ 7.34₂ P 6₃/m 2 H 5₇ 6.86 6.92Pb₅Cl(VO₄)₃ Strukturber. H.458

Según los datos obtenidos en el presente trabajo:

VANADINITA. Exagonal, hemiedría paramórfica.

c/a	a	c	Gr. esp.	z	Tip. estr.	Densidad	
						obs.	calc.
0.7111	10.32	7.73	P 6 ₃ /m	2	H 5 ₇	6.914	6.936

Pb₅ [Cl | (VO₄)₃]COMPORTAMIENTO QUIMICO

Insoluble en agua; en HCl se forma cloruro de plomo y una solución verde. En HNO₃ soluble con coloración amarilla. En H₂SO₄ se forma sulfato de Pb.

Da una bola de plomo metálico y pegadura de cloruro de plomo, con el soplete, sobre carbón. Decrepita.

Con la perla de bórax de coloración amarilla en caliente y verde amarilla en frío (vanadio).

ANALISIS POR FLUORESCENCIA

Obtenido a partir de la misma muestra de polvo utilizada para difracción, fija, 45 kV, 20 mA, radiación Wkx sin filtro. Cristal NaCl. Tubo detector de centelleo, graficada a tiempo constante 2, sensibilidad 2 y multiplicador 1.

La interpretación de la gráfica señala como elementos principales Pb, V, (W del anticátodo), y accesorios el Cu.

ANALISIS Y FORMULA QUIMICA

De la comparación de los resultados analíticos sobre cristales de vanadinita, citados en la tabla adjunta, resulta obvia su uniformidad y sencillez de

composición. Todos ellos oscilan en derredor de los porcentajes calculados a partir de la fórmula teórica admitida (XXXIII y XXXIV).

En ellos aparecen algunas sustituciones isomorfas, que más bien que de cationes separados tienen importancia las de minerales completos (con piro-morfita, PO₄; con mimetesita, AsO₄). Es de hacer notar un término de la serie vanadinita-mimetesita, más cercano a aquella, que se ha tenido como endlichita, aunque sin definición precisa (análisis XXI, XXII, XXVIII, XXXII, por ej.).

Estos análisis fueron uniformados y reducidos a 100%_O para su comparación. Se computaron sus respectivos porcentajes moleculares. Se recalcularon en sus porcentajes iónicos y la fórmula química resultante en cada caso. En gracia a la bravidad de este trabajo se prescinde citar todos estos resultados, obtenidos mediante un programa de computación electrónica escrito para el caso (Fortran II).

Las fórmulas admitidas para la vanadinita han sido:

3 [3 PbO, V ₂ O ₅] - PbCl ₂	Landro (1888)
(PbCl)Pb ₄ (VO ₄) ₃	Salazar Salinas (1928)
[VO ₄] ₃ ClPb ₅	Hintze (1924)
3 Pb ₃ . 2 VO ₄ . PbCl ₂	Wagner y Marchand (1921)
Pb ₅ Cl [(V,As,P)O ₄] ₃	Genth y Rath (1885)
(VO ₄) ₃ Pb ₄ (PbCl)	Groth (1908)
9 PbO. 3 V ₃ O ₅ . PbCl ₂	Larsen y Berman (1934)
Pb ₅ (VO ₄) ₃ Cl	Dana (1924)
(Pb Cl) Pb ₄ (VO ₄) ₃	ASTM
3 [Pb ₃ (VO ₄) ₂] PbCl ₂	Lietz (1931)
Pb ₅ [Cl 1 (VO ₄) ₃]	Strunz (1949)

reflejantes de la unanimidad que se transparente en los análisis de la especie mineral. En este trabajo se elige como parecer más adecuada la última de las citadas. Se ha de tener en cuenta que al

V puede sustituirle el P : proporción P : V = 1 : 4.7

el As: proporción As: V = 1 : 1

Cl puede sustituirle el OH

Pb puede sustituirle el Ca, Zn, Cu, Fe"

TABLA IX.— Relación de los análisis practicados sobre VANADINITA. (% en peso)

	I	II	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Cl	2.23	0.95	2.28	2.34	2.42	2.48	2.50	2.34	2.44	—	2.44
P ₂ O ₅	0.95	0.05	2.68	2.75	2.86	2.93	—	—	3.06	2.77	—
V ₂ O ₅	17.41	19.55	17.47	17.92*	16.72*	17.12*	16.70	17.61	16.84	14.42	19.49
As ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
PbO	76.70	77.97	72.09	73.97	72.46	74.22	79.60	79.18	78.83	78.21	74.58
ZnO	—	—	0.08	—	0.59	—	—	1.39	—	—	2.91
CaO	—	—	2.94	3.02	3.17	3.25	—	—	—	—	—
CuO	—	—	0.15	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃	—	—	0.46	—	—	—	—	—	0.56**	0.30**	—
H ₂ O	—	—	—	—	—	—	0.50	—	—	—	0.52
resid.	—	—	—	—	—	—	—	—	0.25	0.55	—
O=Cl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Valores calculados;

** Fe₂O₃-Cr₂O₃

Continua

	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XI	XXII	XXIII
Cl	2.36	2.19	2.41	2.46	2.69	2.40	2.39	2.49	9.98*	9.73*	2.56
P ₂ O ₅	0.75	1.05	0.29	0.05	0.72	—	0.57	0.39	0.35	vest	—
V ₂ O ₅	18.40	20.88	16.98	17.16	18.64	19.62	17.37	17.44	17.66	18.94	19.24
As ₂ O ₅	—	—	3.06	4.30	0.05	1.41	0.24	1.33	2.60	2.03	—
PbO	76.73	74.22	77.49	77.47	77.96	77.28	79.43	78.31	69.30	68.61	78.41
ZnO	0.94	2.48	—	—	—	—	—	0.05	—	—	—
CaO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CuO	—	—	—	—	0.18	—	—	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃	—	—	0.48	—	0.04	—	—	—	—	—	—
H ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Resid.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
O=Cl	—	—	0.54	—	—	—	—	—	—	—	—

* Citado como Cl₂Pb

	XXIV	XXV	XXVI	XXVII	XXXVIII	XXIX	XXX	XXXI	XXXII	XXXIII	XXXIV
Cl	—	2.49	2.50	2.56	2.18	2.66	2.54	2.61	2.45	2.50	2.50
P ₂ O ₅	—	—	—	—	0.05	0.30	0.35	—	0.05	—	—
V ₂ O ₅	18.75	19.23	19.70	19.24	7.94	19.10	17.66	17.34	10.98	19.33	19.26
As ₂ O ₅	—	—	—	—	10.73	0.05	2.60	5.67	13.52	—	—
PbO	77.77	78.60	78.79	78.42	79.15	78.07	77.31	74.79	73.48	78.17	78.80
ZnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Continua

CaO	-	-	-	0.70	-	-	-	-	0.34	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
resid.	-	-	0.13	-	-	-	-	-	-	0.54	-	-	-
O=Cl	-	-	-	0.60	0.57	0.59	0.55	-	-	-	-	-	0.56

Cl	XXXV	10.57*	10.23*	XXXVIII	XXXIX	XL	XLI	XLII	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	2.66	2.54	2.56	2.46	2.40	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	17.09	20.23	17.34	0.40 ⁰⁰	1.68 ⁰⁰	0.2 ⁰⁰	-	0.61	-	-	-	-	-
As ₂ O ₅	-	0.56	5.67	24.14 ⁰⁰	21.73 ⁰⁰	22.90 ⁰⁰	24.75 ⁰⁰	22.98 ⁰⁰	-	-	-	-	-
PbO	77.26	69.31	66.58	0.05	0.06 ⁰⁰	0.2 ⁰⁰	-	0.96	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	72.52*	72.23*	72.96*	72.96*	71.67*	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	0.50**	0.22**	0.25**	-	0.05	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
resid.	-	-	0.54	-	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-
O=Cl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Dado como PbCl₂; ; *Citado como Pb; **Citado como Ca; ∞ Como PO₄; ∞∞ Como AsO₄; ∞∞∞ VO₄

continua

TABLA.- Cálculo de las fórmulas correspondientes a algunos de los análisis citados.

	Pb	Ca	Zn	Fe	Cu	Cl	V	As	P
I	13.037					1.000	8.023		0.026
IV	6.161	1.000	0.019	0.389	0.036	1.227	3.664		0.720
V	6.154	1.000				1.226	3.659		0.719
VI	5.743	1.000	0.128			1.207	3.252		0.713
VII	5.738	1.000				1.207	3.248		0.712
VIII	6.425					1.270	3.308		
IX	5.375		0.259			1.000	2.934		
X	5.132			0.102		1.000	2.691		0.627
XI	0.427			0.005			0.193		0.048
XII	5.788		0.619			1.192	3.712		
XIII	5.165		0.174			1.000	3.040		0.161
XIV	5.384		0.493			1.000	3.717		0.240
XV	5.108			0.088		1.000	2.747	0.392	0.060
XVI	5.002					1.000	2.719	0.539	0.010
XVII	4.604			0.007	0.030	1.000	2.701	0.006	0.134
XVIII	5.115					1.000	3.187	0.181	
XIX	5.279					1.000	2.833	0.031	0.119
XX	4.996		0.009			1.000	2.731	0.165	0.078
XXI	1.599					1.450	1.000	0.117	0.025
XXII	1.476					1.318	1.000	0.085	0.003
XXIII	4.865					1.000	2.830		
XXIV	0.422						0.247		
XXV	5.014					1.000	3.011		
XXVI	5.006					1.000	3.072		
XXVII	4.866					1.000	2.930		
XXVIII	5.767					1.000	1.420		0.011
XXIX	4.662	0.166				1.000	2.799	0.006	0.052

Continua

	Pb	Ca	Zn	Fe	Cv	Cl	V	As	P
XXX	4.835					1.000	2.711	0.316	0.069
XXXI	6.791					1.492	3.864	1.000	
XXXII	4.764	0.088				1.000	1.747	1.703	0.010
XXXIII	4.967					1.000	3.014		
XXXIV	5.007					1.000	3.003		
XXXV	5.407						2.935		

Índice de los análisis citados (Hintze, 1924).

- I. Cristales de Windischkappel, Obir, Carintia, según C.F.Rammelsberg Pogg. Ann. 98(1858)249.
- II. Cristales de Bena e Padrú, Ozieri, Cerdeña, según C. Rinnatori. Rend. R.Acc.Lincei. (1904)43.
- III. Material macizo de Sta. María, Badajoz, España, según Muñoz del Castillo.— La Farmacia española (1900).
- IV a VII.— De Wanlockhead, Escocia, según A. Frenzel.— El análisis V es el mismo, descontando las impurezas.— El VI del mismo autor. El VII es el mismo análisis VI prescindiendo de las impurezas: este análisis es el citado por Dana (1951) como su análisis 4.
- VIII. Material de Leadhills, Escocia, según N. Collie. Journ. Chem.Soc. 55(1889)91
- IX. Cristales de Udenäs, Suecia, según A.E.Nordenskjöld. Geol. För. Förh. 4 (1079)267.
- X y XI. Muestras de Berjosowsk, Urales, según H.v.Struve Verh.d.min.Ges. St.Petersburg (1857).
El análisis XI es del mismo autor, con material de otras localidades.
- XII. Cristales de Sierra de Córdoba, Argentina, según A.Döring. Bol. Ac.Ciencias, Buenos Aires 5(1883)498
- XIII. Cristales pardos de varios lugares, según C.F.Rammelsberg. Monatsber. Berl. Akad. (1880)661

- XIV. Cristales amarillos de varias localidades, por C.F.Rammelsberg, Monatsber.Berl.Akad. (1880)661
- XV. Cristales pardos de Mammoth Mine, Oracle, Arizona, según H.F. Keller. Este análisis es citado por Dana (1951) como su análisis 6, atribuido a J.A.Genth: Proc.Am.Phil.Soc. 22(1885)365.
Amer. Phil.Soc. marzo 18(1887); Ref.: Zeits.f.Kr.14 (1887)293.
- XVI. Cristales rojo anaranjados de varias localidades, según Keller, (op.cit. en XV)
- XVII. Vanadinita verde pálida en cuarzo, de provenencias variadas, según J.A.Genth.
- XVIII. Cristales de Arizona, sin más precisión de localidad, según C.F. Rammelsberg. Mineralchemie, Erg-Bd. (1180)253
- XIX. Muestras de Lake Valley. Sierra Bella, Nuevo México, según F.A. Genth y G.v.Rath. Zeits.f.Krist. 10(1885)460
- XX. Crsitalos de Sierra Grande, Nuevo México, según F.A.Genth y G.v.Rath. (op cit . en XIX).
- XXI. Cristales tabulares de vanadinita arsenical, llamada endlichita, de Hillsboro, Nuevo México, según P.Jannasch en Goldschmidt. Zeits.f.Krist. 32(1901)561. (Véase análisis XXX)
- XXII. Cristales aciculares de localidades varias, según mismos autores y citas que en los análisis XXI.
- XXIII. Cristales muy puros de Sudáfrica, según N.Story Maskelyne. Ber.d. Chem.Ges. (1872)992
- XXIV. Análisis por el mismo autor que el XXIII.
- XXV,XXVI. Cristales de Marico District, Transvaal, por Marchand. Trans. Geol.Soc.South Africa 23(1921)59
- XXVII. Cristales del mismo lugar de Africa del Sur que el citado en el análisis anterior. Según Flight.

- XXVIII. Primeros cristales de endlichita analizados. Goldschmidt. Z.f.K.32 (1901)561
- XIX. Cristales de Obir, Carintia, por Lietz (1931), citado en Dana (1951) como su análisis 2.
Zeits.f.Krist.77(1931)454
- XXX. Es el análisis XXI citado en estos términos en Dana (1951) como su análisis 5.
- XXXI. Material de Yuma County, Arizona; análisis de Harwood (1910) en Lietz (1931). Citado en Dana (1951) como su análisis 7.
- XXXII. Análisis de Genth y Rath (1885) sobre material de Lake Valley, Nuevo México. Lo cita Dana (1951) y correspondería al XIX de los que se exponen; mas no se parece al original (?).
- XXXIII. Análisis a partir de la fórmula teórica. Hintze (1924).
- XXXIV. Cálculo de análisis a partir de la fórmula teórica. Dana (1951).
- XXXV. Cristales de Vanadinita de Marruecos. Barthoux (1924)
- XXXVI. Cristales de Yuma County, Ariz. Harwood en Dölter. (Lietz,1931).
- XXXVII. Mismos cristales que en el análisis XXXVI.
- XXXVIII. Cristales de Obir, Carintia. (Lietz, 1931)
- XXXIX. Cristales de Djebel Massar. (Lietz, 1931)
- XL y XLI. Id.
- XLII. Cristales de la Sierra de los Lamentos. Análisis de A.Rodríguez del Instituto de Geología de México.

DENSIDAD

a/. D e n s i d a d o b s e r v a d a.

La densidad de los cristales de vanadinita ha sido apreciada entre los extremos 6.737 y 7.23 por los diferentes investigadores, y con precauciones también muy distintas: Hintze hace observar que su determinación no es exacta por falta de material puro; Lietz ofrece las mejores garantías en sus apreciaciones

TABLA COMPARATIVA

Autor	Densidad	Dispersión	Provenencia de cristales
Nordenskjöld (1857)	6.863		Urales
Rammelsberg (1858)	6.886		Windischkappel
Rammelsberg (1880)	6.635		Varios
Rammelsberg (1880)	6.373		Varios
Rammelsberg (1880)	6.847		Varios
Keller (1885)	6.572		Arizona
Genth y Rath (1885)	6.862		Nuevo México
Genth	7.109		Varios
Jannasch (1901)	6.88		Hillsboro
Jannasch (1901)	6.88		Varios
Groth (1908)	6.88		Varios
Marchand (1921)	6.46		Transvaal
Hintze (1924)	7.00		
Hintze (1924)	6.741	6.373-7.109	
Salazar Salinas (1928)	6.90	6.7 - 7.1	
Lietz (1931)	6.976		Djebel Mahser
Lietz (1931)	6.852		Gila County
Lietz (1931)	6.852		Hillsboro
Lietz (1931)	6.863		Sintéticos
Larsen y Berman (1934)	7.00	Más o menos	
Argall (1943)	6.965	6.7 - 7.23	
Dana (1957)	6.88	6.5 - 7.1	Cristales puros
Trotter y Barnes (1958)	6.861	6.859-6.862	Arizona, Globo
Fabregat (1967)	6.914	6.786-7.027	Los Lamentos

Para las determinaciones actuales se emplearon varios cristales: los trocitos mayores se trataron por el picnómetro, y los menores por la balanza de Berman (medio:tolueno)

Trotter y Barnes emplean asimismo la balanza de Berman, con tolueno, y cristales de 19.26 y 18.30 mgr.

Las determinaciones que ofrecen mayor garantía por la minuciosidad descrita en sus valoraciones, son las de Lietz (1931). Emplea este autor dos procedimientos:

- a) El del picnómetro, manteniendo una temperatura de 19.4° y operando con petróleo (de densidad 0.81253 ± 0.00012). La operación se realizó en el

vacío, bajo campana, para extraer las burbujas que hubiesen quedado por adherencia.

b) El de líquido de inmersión en solución de Clerici, también bajo campana de vacío. Emplea una balanza Sartorius que le da apreciaciones con 6 decimales. Aplica la fórmula.

$$\text{Densidad} = \frac{D}{1 - \frac{g}{G} \left(\frac{D}{d} - 1 \right)}$$

D densidad del sistema
d densidad líquido Clerici
G peso del cristal medido
g peso del líquido empleado

Es de notar la observación de Dana(1957) al indicar que la variación de densidades entre sus límites 6.5 - 7.1 se debe al grado de sustitución isomorfa del Pb por el Ca.

b/. D e n s i d a d c a l c u l a d a.

Admitiendo la fórmula que se establece luego para la vanadinita $\text{Pb}_5 [\text{Cl}(\text{VO}_4)_3]$ y un contenido molecular de $Z = 2$,

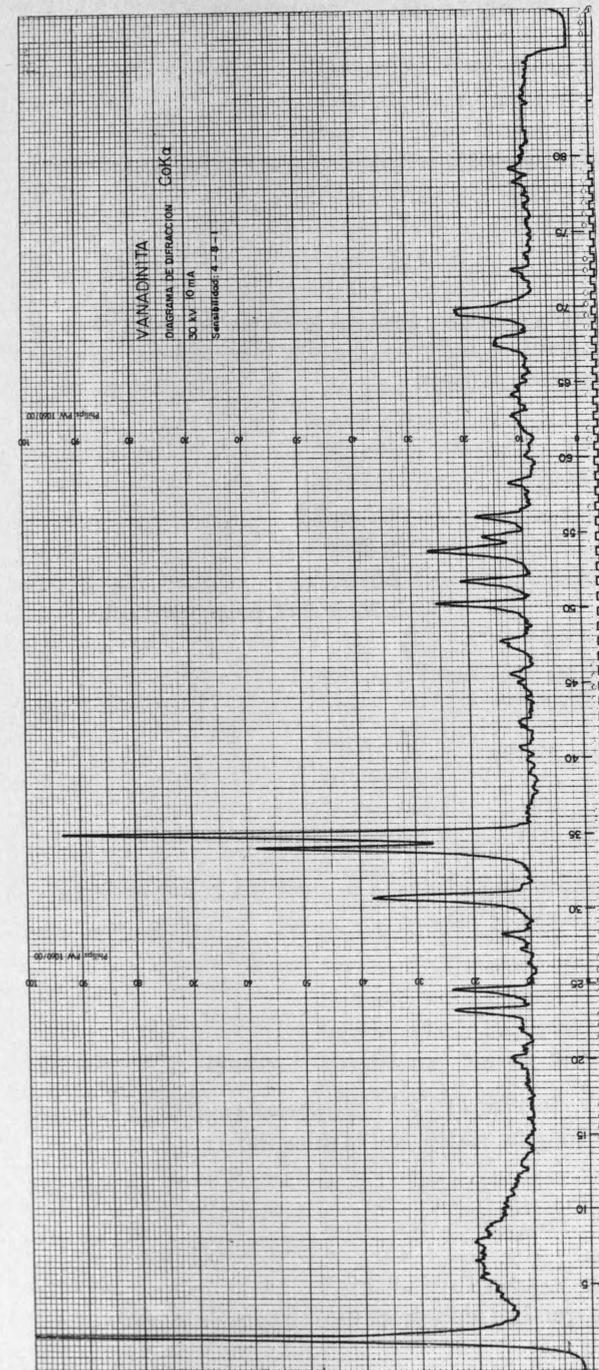
$$D(\text{calc.}) = \frac{Z \cdot M (\text{peso molecular}) \cdot 1.660 \cdot 10^{-24}}{\text{Vol. } (\text{Å}^3) \cdot 10^{-24}} = 6.936082 \text{ gr/cm.}$$

con $M = 1416.357$ y el volumen de la celda $V = 677.9483 \text{ Å}^3$

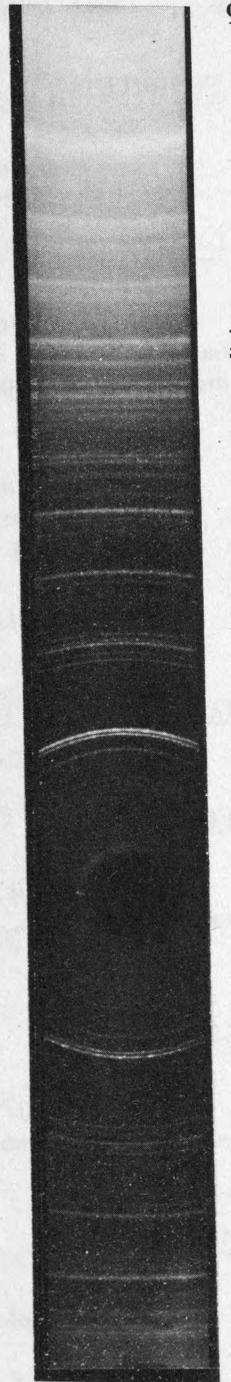
Con la densidad experimental de 6.914 que se halló para este trabajo, resultaría $Z = 1.993632 \approx 2$

Las densidades calculadas por otros autores y citadas en sus publicaciones, son

Lietz (1931)	6.92	(citada por Dana, 1957)
Hendricks, et alt. (1932)	6.92	
Trotter y B. (1958)	6.887	



34—Gráfica del registro fotospectroscópico por difracción sobre polvo de vanadinita.



35—Diagrama de Debye obtenido por la difracción sobre polvo de vanadinita.

FUSIBILIDAD

Tiene el grado 1.5 de la escala de v.Kobell (Larsen y Berman, 1934).

DUREZA

La apreciación de la dureza en términos de la escala de Mohs, aunque bastante difícil en la generalidad de los casos, ha sido estimada con amplitudes muy estrechas por los diversos autores.

Larsen y Berman (1934)	— 3
Salazar Salinas (1928)	— 2.7 a 3.0
Argall (1943)	— 2.75 a 3.0
Dana (1957)	— 2.5 a 3.0
Hintze (1924)	— 2.75 a 3.0, principalmente casi 3.

TENACIDAD

Cristales frágiles (Dana, 1957).

FRACTURA

La fractura de los cristales de vanadinita se presenta como irregular a concoidea (Hintze, 1924) (Dana, 1957).

EXFOLIACION

Hintze (1924), Larsen y Berman (1934) manifiestan explícitamente no reconocer en la vanadinita ningún rastro de exfoliación.

COLOR

La gama de colores con que han sido descritos cristales de vanadinita es la siguiente:

gris opaco	Marruecos (Barthoux, 1922)
pardo gris	Josephistollen, Austria (Zepharovich, 1892) Sierra de los Lamentos, Chih., México.
pardo negro	Marruecos (Barthoux, 1924)
pardo	Djebel Mahser, Marruecos (Barthoux, 1924) Nuevo México (Cutter) Argall (1943) Hintze (1924) Annaberg, Austria (Sigmund, 1904) Arizona (Blake, 1889)
pardo chocolate	Arizona (Silliman, 1881) Dana (1957)
pardo cuero	Argentina (Websky, 1881) Nuevo México (Lietz, 1931) Sierra de los Lamentos, Chih., México.
pardo rojizo	Dana (1957)
rojo pardo oscuro	Escocia (Heddle, 1901) Dana (1957)
rojo oscuro	Congo (Lacroix, 1908) Arizona (Penfield, 1886)
rojo a rubí	Silver District (Silliman, 1881) Dana (1957)
rojo	Tasmania (Petterel) Argall (1943), Sierra Co, Nuevo México. Larsen y Berman (1934) Hintze (1924) Yuma Co, Arizona (Lietz, 1931)
rojo brillante	Transvaal (Wagner y Marchand, 1921) Arizona (Silliman, 1881)
rojizo	Marruecos (Barthoux, 1922) Argelia (Lacroix, 1908)
rojo pálido a oscuro.	Magdalena, Nuevo México.
rojo anaranjado	Transvaal (Wagner y Marchand, 1921) Dana (1957) Nuevo México
anaranjado	Nuevo México Marruecos (Barthoux, 1924) Arizona (Trotter y Barnes, 1958)
amarillo	Cerdeña (D'Lovisato, 1903) Argall (1943)

	Dana (1957)
	Hintze (1924)
	Transvaal (Wagner y Marchand, 1921)
	Hillsboro (Lietz, 1931)
amarillo limón	Vulture District, Arizona (Suliman, 1881)
amarillo cera	Suecia (Nördström)
	Nuevo México
	Escocia (Heddle, 1901)
	Arizona (Blake, 1881)
amarillo paja	Arizona (Penfield, 1886)
	Dana (1957)
amarillo miel	Marruecos (Barthoux, 1924)
amarillo pardo	Larsen y Berman (1934)
	Dana (1957)
	Obir (Lietz (1931)
amarillo oro	Argelia (Lacroix, 1908)
blanco amarillento	Marruecos (Barthoux, 1924)
blanco	Marruecos (Barthoux, 1924)

Todo lo cual resume Hintze afirmando que el color de la vanadinita es rojo, amarillo o pardo, con todas las transiciones. Probablemente se debe, como en los otros miembros del grupo mineralógico a que pertenece, a un medio de dilución en donde se formaron los cristales: por ello debería haber cristales blancos o incoloros. Sin embargo, éstos no han sido aún observados. No se ha decidido aún si todo el color o a lo menos en parte, se deba a la presencia de ácido vanádico. También carece de fundamentos experimentales lo suficientemente sólidos, la suposición de Kraatz-Kosclan, de Wöhler, de atribuir el color de la vanadinita al cromo.

TEXTURA ZONAL

En los cristales en sección se observan a veces zonas concéntricas de composición variada y diferentes tonalidades. (Dana, 1957)

En unos cristales tabulares gruesos según la base, provenientes de Gila County, Arizona, observa Lietz (1931) en una lámina paralela a esa base (00*1) textura zonal muy fuerte rojo claro a oscuro, variable, en capas paralelas a los prismas de 1^o especie.

TRANSPARENCIA

Aunque Barthoux (1922) trata de los cristales de vanadinita como opacos, son en realidad traslúcidos en el sentido actual de la apreciación empleada en mineralogía; así lo afirma también este autor en otro lugar. Para Salazar Salinas (1928) son semitraslúcidos u opacos.

Subtransparentes a casi opacos (Dana, 1957)

Transparente en esquirlas muy delgadas.

BRILLO

El brillo de la vanadinita ha sido designado con los siguientes calificativos:

craso	—Suecia (Nordström, 1879) (Philpsbom, 1953)
subadamantino	—Transvaal (Wagner y Marchand, 1921) Dana (1957), Hintze (1924)
vítreo	—Annaberg, Austria (Sigmund, 1904)
vivamente vítreo en cristales y fracturas frescas	—Hintze (1924)
mate	—Escocia (Heddle, 1901)
adamantino	—Marruecos (Barthoux, 1922)
resinoso	—Transvaal (Wagner y Marchand, 1921) Salazar Salinas (1928) Larsen y Berman (1934)
subresinoso	—Dana (1957)

RAYA O POLVO

El color de raspadura se ha descrito como:

blanca	—Hintze (1924)
blanca o amarillenta	—Salazar Salinas (1928) Dana (1957)

PROPIEDADES OPTICAS

Schroeder van der Kolk (1899) establece que los índices de piromorfita y de vanadinita se hallan sobre 1.93 (determinación por medio de líquidos de inmersión) y que tienen una birrefringencia de 0.02 y 0.01 respectivamente.

Bowman (1903) expone su extrañeza por el hecho de que un grupo de minerales tan transparentes como el de piromorfita, mimetesita y vanadinita no haya sido sometido a una investigación minuciosa, fuera de la observación de sus figuras de interferencia. Decide, en consecuencia, emprender la determinación de las constantes de sus indicatrices ópticas, haciéndolo con extrema minuciosidad: sus determinaciones han sido aceptadas universalmente. En su trabajo expone algunas de las operaciones que realizó para fijar los índices de refracción de los tres minerales, con base en ejemplares obtenidos del Oxford Museum, y provenientes de diversas localidades. Se basa en el método del prisma, por la mínima desviación, para los tres colores.

vidrio rojo
llama de sodio
filtro de vidrio azul

teniendo como más precisos los valores determinados para el rojo.

De la tabla que cita en su trabajo y trae los resultados de varios minerales, se entresacan aquí los que interesan directamente en la obra actual:

TABLA de índices de endlichita y vanadinita

	Rojo (C), 656 m μ			Amarillo (D), 589.3 m μ		
	ϵ	ω	($\epsilon - \omega$)	ϵ	ω	($\epsilon - \omega$)
Endlichita (Hillsboro)	2.292	2.341	-0.049	2.311	2.358	-0.047
Vanadinita (Tucson)	2.299	2.354	-0.055	—	—	—

Esos mismos índices y birrefringencias son citados por Hintze (1924), refiriéndolos todos a la vanadinita

Larsen (1921) halla los índices ópticos de la endlichita de Hillsboro por el procedimiento de inmersión y para la luz amarilla del sodio,

$$\omega (\text{Na}) = 2.25 \pm 0.01 \quad \epsilon (\text{Na}) = 2.20 \pm 0.01$$

Posteriormente, los cristales de vanadinita fueron objeto de un estudio óptico mucho más profundo y completo por parte de Lietz (1931), quien trata varios ejemplares cristalinos:

—vanadinita amarilla de Kelly, Nuevo México,
—vanadinita parda de Obir, Carintia.

—vanadinita amarilla de Hillsboro, Nuevo México.
—vanadinita roja de Gila County, Arizona.
—vanadinita roja de Yuma County, Arizona,

por el método de mínimas desviaciones en el prisma, aplicando la fórmula conocida de

$$n = \frac{\text{sen } \frac{\delta}{2} \varphi}{\text{sen } \frac{\varphi}{2}} \quad \begin{array}{l} \varphi = \text{ángulo del prisma} \\ \delta = \text{ángulo de desviación} \\ n = \text{índice de refracción.} \end{array}$$

experimentando en cada muestra con unas 10 longitudes diferentes de onda, entre 435.83 y 708.20 m μ . Presenta sus resultados tabulados y trasladados tabulados y trasladados a sendas gráficas para cada una de las muestras estudiadas. Aquí se transcriben únicamente los datos de las dos primeras muestras.

Vanadinita amarilla de Kelly, Nuevo México.

λ en m μ	Rayo refractado más intenso =			Id., más débil		
	ω	ϵ	Δ	ω	ϵ	Δ
435.83	n = 2.5894			$\epsilon = 2.4853$ 0.1041		
491.61	2.5173	2.4321	0.0852	2.5053	2.4216	0.0837
513.20	2.4916	2.4120	0.0796	2.4807	2.4020	0.0787
546.07	2.4587	2.3862	0.0725	2.4480	2.3762	0.0718
579.07	2.4330	2.3660	0.0670	2.4240	2.3573	0.0667
589.3	—	—	—	—	—	—
607.27	2.4171	2.3526	0.0645	2.4068	2.3428	0.0640
623.43	2.4094	2.3460	0.0634	2.3989	2.3372	0.0617
690.75	2.3888	2.3292	0.0596	2.3781	2.3198	0.0573
708.20	2.3817	2.3240	0.0571	2.3711	2.3138	0.0573
	$\omega = 2.6388$			$\epsilon = 2.3123$ $\Delta = 0.0565$		

Error máximo	$\omega \pm 0.0010$	$\omega \pm 0.0008$
	$\epsilon \pm 0.0010$	$\epsilon \pm 0.0008$
	$\Delta \pm 0.0020$	$\Delta \pm 0.0016$
	$\varphi \pm 18^\circ 11.82'$	

Prisma: 0.5 mm alto ; 0.6 mm ancho

Vanadinita de Obir, Carintia. — Temperatura 29°C

γ 3n m μ	Prisma 9d			Prisma 16d		
	ω	ϵ	Δ	ω	ϵ	Δ
435.83	2.628	2.505	0.123	2.6051	2.4944	0.1107
491.61	2.5053	2.4229	0.0824	2.4975	2.4147	0.0828
513.20	2.4809	2.4015	0.0794	2.4726	2.3952	0.0774
546.07	2.4481	2.3763	0.0718	2.4401	2.3696	0.0705
579.07	2.4234	2.3557	0.0677	2.4151	2.3501	0.0650
589.3	2.4163	2.3503	0.0660	2.4078	2.3446	0.0632
607.27	2.4033	2.3406	0.0627	2.3979	2.3363	0.0616
623.43	2.3971	2.3342	0.0629	2.3902	2.3289	0.0613
671.63	2.3761	2.3186	0.0575	2.3700	2.3125	0.0575
690.75	2.3698	2.3134	0.0564	2.3629	2.3065	0.0964
Error máximo $\omega \pm$ 0.0010 $\omega \pm$ 0.0020						
$\epsilon \pm$ 0.0010 $\epsilon \pm$ 0.0020						
$\Delta \pm$ 0.0020 $\Delta \pm$ 0.0040						
$\varphi = 23^{\circ}24.90'$ $\varphi = 23^{\circ}25.52'$						

Prisma: 0.5 mm alto ; 0.3 mm ancho.- 1 mm alto; 0.5 mm ancho.

Cual se puede observar, los valores dados por las determinaciones iniciales de otros autores son inferiores a los establecidos por Lietz; los de Bowman son extremados, aunque no erróneos.

Dana (1957) expone una sinopsis de los índices de refracción con algunas incompatibilidades:

TABLA de los índices de refracción según Dana (1957)

	γ	ϵ	ω	($\epsilon - \omega$)	Autor
V	435.83	2.505	2.628	- 0.123	Lietz (1931)
V	589.3	2.350	2.416	- 0.066	Lietz (1931)
E	589.3	2.20	2.25	- 0.05	Larsen (1921)
E	589.3	2.311	2.358	- 0.047	Bowman (1903)
V	690.75	2.313	2.370	- 0.057	Lietz (1931)

V = Vanadinita de Obir, Carintia.

E = Vanadinita arsenical (endlichita) de Hillsboro, N.M.

En la tarjeta de la ASTM 2-0708 se cita para vanadinita,

$$\epsilon = 2.3186 \quad , \quad \omega = 2.3768 \quad (\text{para la luz de Li})$$

Los índices disminuyen según los ejemplares, por el grado de sustitución del V por el As ó por el P; así como por la del Pb por Ca.

Carácter óptico: uniáxica negativa (-)

Las secciones delgadas de vanadinita se observan incoloras o débilmente teñidas; su pleocroísmo con absorción $\epsilon < \omega$:

a) En lámina delgada que se confeccionó para este trabajo, de unos cristales de vanadinita de la Sierra de los Lamentos, se aprecia una textura en mosaico, de birrefringencias muy elevadas, debida probablemente a vanadinita con fragmentos pseudomorfo de descloizita o de piromorfita.

b) Cristales de vanadinita de Old Mammouth Mine, Tucson, Arizona: Color rojo rubí oscuro. Los índices se determinaron para rojo monocromático transmitido por el cristal, que quedaba entre las líneas C y D. El cristal marcadamente pleocroico, siendo

ϵ amarillo parduzco ; ϵ rojo parduzco

c) Cristales de endlichita de Hillsboro, Nuevo México, Cristales amarillo pálidos, textura zonal. Bisectriz negativa $2E = 14^{\circ}$ Plano de los ejes ópticos variable en inclinación sobre la cara del prisma.

En el trabajo de Lietz (1931) se citan algunas observaciones sobre láminas delgadas de vanadinita:

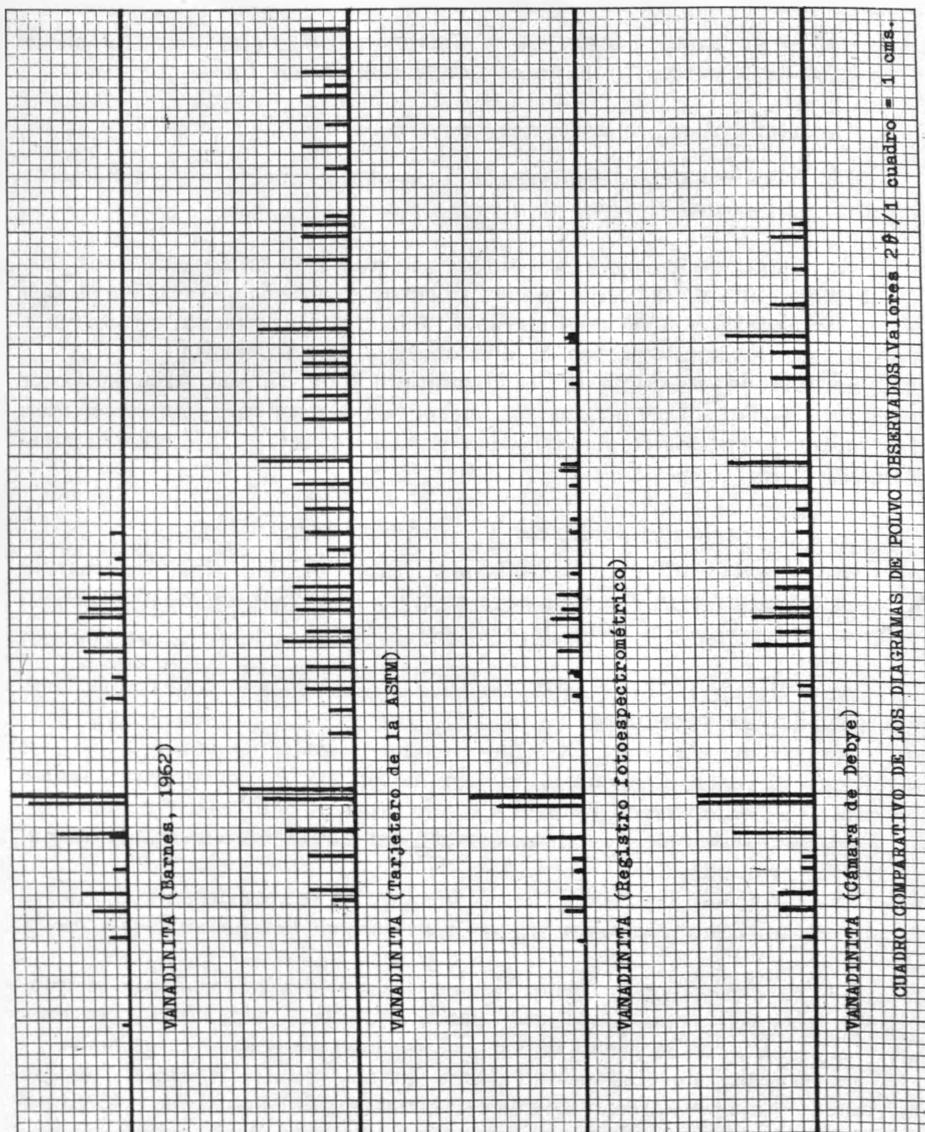
d) En cristales de Obir, Carintia: Lámina delgada paralela a (0001) Se manifiesta el cristal como uniáxico. Con luz polarizada convergente, anillos normales que desaparecen ya en el segundo orden, y el 5° es extremadamente débil: sólo se le aprecia con iluminación del microscopio mediante lámpara de 200 vatios.

e) En cristales de Hillsboro, Nuevo México: En lámina delgada se observa un núcleo uniáxico y algunos lugares biáxicos, en los que se llega a medir $2V = 3^{\circ} - 4^{\circ}$.

f) En cristales de Kelly, Nuevo México: Lámina delgada en donde se aprecia un núcleo uniáxico y algunas partes periféricas débilmente biáxicas. $2V = 5^{\circ} - 7^{\circ}$, con el plano de los ejes ópticos paralelo a los prismas.

g) En cristales de Red-Cloud Mine, Yuma County, Arizona: Lámina delgada en donde se aprecian cristales en capas, según los prismas, coloreados fuerte y distintamente. En luz polarizada convergente: en las partes nucleares se comporta el cristal como biáxico débil, con $2V$ de unos 4° ; este valor llega a $2V = 7^{\circ}$ en las partes periféricas.

h) En cristales de Gila County, Arizona: Lámina delgada paralela a (0001): textura zonal muy fuerte, rojo claro a oscuro, variable, en capas paralelas a los prismas. La región nuclear tiene apariencia uniáxica, mientras las zonas

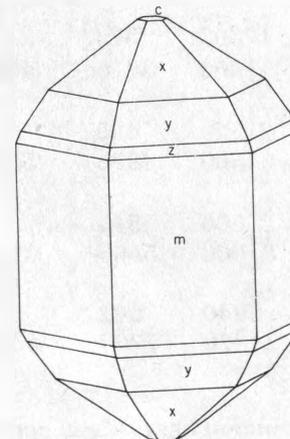


36—Cuadro comparativo de los diagramas de polvo obtenidos con vanadinita. (Valores 28 por cuatro centímetros).

de crecimiento parecen biáxicas, con $2V = 7^\circ$. El plano de los ejes ópticos también es aquí paralelo a las caras del prisma de primera especie.

PLEOCROISMO

Hintze (1924) alude a esta propiedad señalándola como débil en la vanadinita; mientras que Bowman (1903) tiene a esos cristales como marcadamente pleocroicos, con variación entre amarillo parduzco y rojo parduzco.



37—Cristal de endlichita (Fig. 1 de Pendield, 1886)

Esta diferencia de pareceres se debe probablemente a las condiciones de observación, pues mientras el primero se refiere a la luz ordinaria (Cf. el párrafo anterior), el segundo experimenta con la luz roja monocromática; para ambos, la absorción pleocroica es $\epsilon < \omega$.

COEFICIENTES DE ABSORCION.

Los coeficientes de absorción de masa μ^* de la vanadinita $Pb_5[Cl(VO_4)_3]$ para las radiaciones más comunes se han calculado dividiendo su absorción molecular correspondiente a ellas, por su peso molecular, $Pm = 1416, 357$.

Rad. Kv	Pb 5Pb	Cl	V 3V	O 12 O	Absorción molecular	μ^*	μ
Mo	29200	412	1350	24	150750	106.4	735.6

Continúa

Zn	41900 209500	3010	9480 28440	182 2184	243134	171.6	1186.4
Cu	49900 249500	3670	11600 34800	203 2436	290406	205.0	1417.3
Ni	60900 304500	4450	14000 42000	259 3108	354058	249.9	1727.8
Co	73400 367000	5600	17300 51900	323 3876	428376	302.5	2091.5
Fe	88900 444500	7060	21500 64500	403 4836	520896	367.7	2542.2
Mn	103000 515000	8690	27000 81000	515 5665	610355	430.9	2979.2
Cr	121000 605000	10900	3940 11820	642 7704	635424	448.6	3101.6

Los coeficientes de absorción lineal μ son constantes para cada elemento e independientes de su estado de agregación: se les calcula multiplicando el coeficiente μ * por la densidad 6.914 de la vanadinita.

DIAGRAMA DE POLVO

El fichero de la ASTM (2-0708) sita un intento de Berry (1959) para numerar el diagrama de polvo de vanadinita por medio de los datos de la celda elemental de Trotter y Barnes (1958): presenta coincidencias no satisfactorias entre los valores $d(\text{obs.})$ y $d(\text{calc.})$. Quizás se deban tales discordancias al hecho de haber obtenido el diagrama de polvo y los datos de dimensión del cristal de ejemplares provenientes de localidades diferentes: tales discrepancias podrían atribuirse posiblemente a diferencias en la razón V:As de sustitución isomorfa en la fórmula.

Se prefiere citar aquí ese diagrama de la ASTM y no en comparación con el de Barnes, que se cita más adelante, por la falta de coincidencias a las que se ha aludido.

Vanadinita. ASTM: 2-0708		2.95	3.00	1.55	4.30
<u>d(A)</u>	<u>I/I₀</u>	100	80	80	20
4.30	20	1.96	60	1.37	40
4.12	40	1.93	40	1.35	40
3.63	40	1.88	50	1.32	80
3.30	60	1.82	40	1.28	40
3.00	80	1.76	20	1.23	40
2.95	100	1.72	40	1.20	40
2.53	20	1.65	40	1.19	40
2.41	20	1.60	50	1.18	20
2.30	40	1.55	80	1.13	20
2.19	40	1.47	40	1.11	40
2.07	60	1.43	40	1.09	20
2.03	40	1.39	40	1.07	40
				1.06	20
				1.05	40
				1.02	40 B

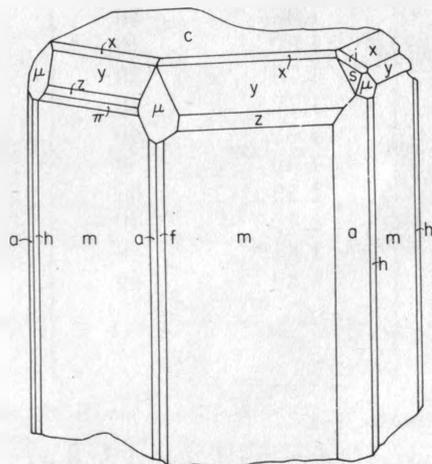
Por ello toma Barnes diagramas de polvo de 8 muestras provenientes de 5 localidades diferentes:

1. Apalache Mine, cerca de Globe, Arizona (cristales rojo anaranjado oscuros)
2. Muestras de la misma localidad, pero de diferente ración.
3. Mammoth Mine, Tiger, Arizona (cristal anaranjado)
4. Muestra de la misma localidad (cristal amarillo)
5. Eisenkappel, Carinthia, Austria. (Varios cristales color ambar o anaranjado pálido).
6. Old Yuma Mine, Tucson, Arizona. (Cristal anaranjado).
7. Abenab Mine, Africa del Suroeste. (Fragmento amarillo de una arista exterior de un cristal grande).
8. Del mismo ejemplar anterior: fragmento rojo anaranjado del centro de ese cristal.

Los diagramas fueron registrados con cámara de 114.59 mm, montaje de Straumanis, $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$). Tomó Barnes gran número de precau-

ciones para evitar errores. Midió las 15 líneas más notables en cada película y halló como media de 2σ :

1.	20.01	6.	42.92	11.	57.31
2.	21.15	7.	44.19	12.	66.59
3.	26.45	8.	46.68	13.	67.90
4.	29.22	9.	47.72	14.	68.86
5.	30.01	10.	49.68	15.	73.40



38—Cristal de endlichita
(Fig. 5 de Goldschmidt, 1900)

no hallando diferencias notables en los arcos 2σ de los diagramas de las diferentes localidades (ni para las muestras de colores entre amarillo y rojo anaranjado oscuro).

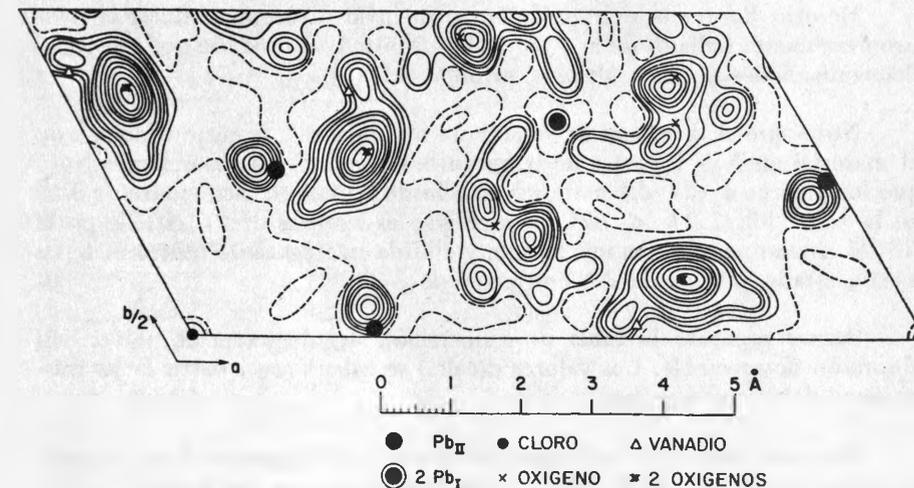
Dado que no hay razón para dudar de la validez de las dimensiones de la celda elemental citada por Trotter y Barnes (1958).

$$a_0 = 10.331 \pm 0.001 \text{ \AA} ; c_0 = 7.343 \pm 0.001 \text{ \AA}$$

quienes aplicaron el método de Farquhar y Lipson (1946) para mediciones de retroceso en diagramas de oscilación, se emplearon dos cristales de la misma muestra que sirvió para la determinación de la estructura (Apache Mine, cerca de Globe, Arizona), con un espectrogoniómetro y contador de centelleo. Se utilizó la radiación de Cu para un cristal y la de Mo para los otros.

Ambos cristales se montaron con la dirección c como eje de giro. Se tomaron en cuenta los reflejos incluidos en cada caso dentro de la esfera de reflexión y no fueran excluidos por el grupo espacial.

Llama la atención lo minucioso de la medición y el gran número de precauciones tomadas, que Barnes cita en su artículo.



39- y 40—Proyecciones de la estructura de una celda elemental de vanadinita. (Trotter y Barnes, 1958).

Midió para $a_0 = 10.325_2 \pm 0.001 \text{ \AA}$ con las precauciones para lograr exactitud, recomendadas por Azaroff y Buerger (1958) págs. 236 a 239 y 321 a 323, logrando $c_0 = 7.342_8 \text{ \AA}$ (Cu) y 7.342_5 \AA (Mo); para $a_0 = 10.324_9 \text{ \AA}$ (Mo).

Esta última medición es coincidente con la determinada por Trother y Barnes (1958), mientras la primera es menor que ella en 0.006 Å. Tomando la media entre ambos resultados,

$$a = 10.325 \pm 0.001 \text{ \AA} \quad ; \quad c = 7.343 \pm 0.001 \text{ \AA}$$

Repitió Barnes la extrapolación y no halló razón para alterar el valor primitivamente hallado de $a_0 = 10.331 \pm 0.001 \text{ \AA}$, aprobando por buenas las determinaciones de esos últimos autores.

Notó que el diagrama de vanadinita no era ideal. Se mejora diluyendo el material en 5 ó 7 partes de tragacanto. Consideró las absorciones. Notó que los valores de 2ϵ del material no diluido tenían un incremento de 0.1° en la zona $20^\circ < 2\epsilon < 75^\circ$. Deduce que las lecturas de 2ϵ citadas por la ASTM corresponde a una muestra muy diluida en tragacanto u otro material inerte, citando valores de 2ϵ con error de $\pm 0.3^\circ$.

Barnes presenta la tabla de numeración del diagrama de polvo, con absorción despreciable. Los valores $d(\text{calc.})$ se calcularon a partir de las traslaciones determinadas cual se indicó.

Para este trabajo de revisión se obtuvieron dos diagramas de polvo de la vanadinita mexicana de la Sierra de los Lamentos: uno por registro fotoespectrométrico y otro fotográfico mediante la cámara de Debye. Los datos leídos se exponen en sendas tablas, y la representación gráfica comparativa de todos ellos, en la fig. 36

Se nota perfecta coincidencia con el diagrama de polvo de Barnes (1962), sobre todo en su columna $d(2)$, habida cuenta de una constante de corrección de los respectivos aparatos, que se ha preferido no hacer explícita, cual se deduce del cuadro sinóptico de la fig. 36. Ello permite numerar los nuevos diagramas por comparación con el de Barnes y confirmar las dimensiones de la celda elemental (Cf. pág. 108) que por la revisión mediante su forma cuadrática y empleando el método de Ito obliga a la admisión de las dimensiones.

$$a_0 = 10.325 \text{ \AA} \quad ; \quad c_0 = 7.343 \text{ \AA}$$

TABLA. Difracción de Polvo (Barnes, 1962)

$\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3 \text{ Cl.}$ - $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$; filtro Ni.- Cámara 114.57 mm.

Montaje Straumanis. Espaciados calculados:

	(1) :	$a_0 = 10.331 \text{ \AA}$;	$c_0 = 7.343 \text{ \AA}$	
	(2) :	$a_0 = 10.325 \text{ \AA}$;	$c_0 = 7.343 \text{ \AA}$	
<u>I/I</u>	<u>d(obs.)</u>	<u>d(calc.(1))</u>	<u>d(calc.(2))</u>	<u>hkl</u>
<1		8.947	8.942	10*0
<1		5.676	5.675	10*1
15	5.161	5.166	5.162	11*0
30	4.468	4.473	4.471	20*0
40	4.218	4.225	4.223	11*1
10	3.817	3.820	3.819	20*1
15	3.675	3.672	3.672	00*2
60	3.384	{ 3.397	3.396	10*2
		{ 3.382	3.380	21*0
85	3.068	3.072	3.070	21*1
100	2.988	{ 2.992	2.992	11*2
		{ 2.982	2.980	30*0
2	2.836	2.838	2.837	20*2
5	2.760	2.763	2.762	30*1
8	2.579	2.583	2.581	22*0
5	2.485	{ 2.487	2.486	21*2
		{ 2.481	2.480	31*0
2	2.435	2.436	2.435	22*1
2	2.351	{ 2.361	2.361	10*3
		{ 2.351	2.350	31*1
12	2.313	2.315	2.314	30*2
10	2.237	2.237	2.235	40*0
15	2.210	2.212	2.212	11*3
—	—	2.147	2.147	20*3
—	—	2.140	2.138	40*1
35	2.111	{ 2.112	2.112	22*2
		{ 2.056	2.055	31*2
30	2.054	2.052	2.051	32*0

Continua

40	1.980	1.983	1.982	21*3
		1.977	1.976	32*1
30	1.950	1.952	1.951	41*0
35	1.910	1.910	1.909	40*2
		1.892	1.892	30*3
1		1.887	1.886	41*1
20	1.837	1.836	1.836	00*4
		1.798	1.798	10*4
5	1.789	1.792	1.791	32*2
		1.789	1.788	50*0
—	—	1.776	1.766	22*3
		1.742	1.742	31*3
3	1.737	1.738	1.738	50*1
		1.730	1.730	11*4
10	1.723	1.724	1.723	41*2
		1.722	1.721	33*0
		1.698	1.698	20*4
10	1.692	1.691	1.690	42*0
10	1.675	1.676	1.675	33*1
		1.651	1.651	40*3
1	1.647	1.648	1.647	42*1
		1.608	1.608	50*2
20	1.610	1.607	1.606	51*0
		1.573	1.572	32*3
		1.570	1.569	51*1
20B	1.566	1.563	1.563	30*4
		1.559	1.558	33*2
1	1.539	1.536	1.535	42*2
1		1.526	1.526	41*3
		1.496	1.496	22*4
1	1.494	1.491	1.490	60*0
1B	1.466			
3	1.432			
2	1.420			
12	1.406			
6	1.380			

continua

12	1.365
7	1.346
20	1.336
6	1.291
2	1.275
1	1.257
5	1.244
5	1.237
10	1.207
10	1.193
5	1.104
4	1.129
5	1.115
3	1.106
5	1.094
6	1.077
2	1.069
6	1.056
5	1.025
1	1.006
10	0.996
2BB	0.943
5B	0.930
2BB	0.894
1BB	0.883
3BB	0.875

TABLA.— Comparación de los diagramas de polvo obtenidos actualmente con el publicado por Barnes (1962)

I	Barnes (1962)		Fabregat (1966)	
	d(calc.2)	Registro Fotométrico	Película Debye	Símbolos
15	5.162	5.2111	5.1578	11*0
30	4.471	4.4800	4.4682	20*0
40	4.223	4.2346	4.2159	11*1
10	3.819	3.8306	3.8107	20*1
15	3.672	3.6896	3.6515	00*2
60	3.380	3.3984	—	10*2
		—	3.3657	21*0
85	3.070	3.0763	3.0634	21*1
100	2.980	2.9975	2.9772	30*0
12	2.314	2.3166	2.3118	30*2

continua

10	2.235	2.2360	—	40*0
15	2.212	2.2149	2.2094	11*3
35	2.112	2.1148	2.0961	22*2
30	2.054	{ 2.0562	—	31*2
		{ —	2.0486	32*0
40	1.980	{ 1.9835	—	21*3
		{ —	1.9773	32*1
30	1.951	1.9521	19517	41*0
35	1.909	{ 1.9110	—	40*2
		{ —	1.8937	30*3
20	1.836	1.8398	1.8253	00*4
5	1.788	—	1.7849	50*0
10	1.723	{ 1.7232	—	41*2
		{ —	1.7210	33*0
10	1.690	1.6908	—	42*0
10	1.675	—	1.6673	33*1
20	1.606	{ 1.609	—	50*2
		{ —	1.6044	51*0
20	1.566	{ 1.5676	—	51*1
		{ —	1.5580	33*2
		{ 1.5618	—	30*4
12	1.406	1.4063	1.4011	—
6	1.380	1.3828	1.3783	—
12	1.365	—	—	—
7	1.346	1.3428	1.3502	—
20	1.336	{ 1.3379	—	—
		{ 1.3349	—	—
		{ 1.3323	1.3326	—
6	1.291	—	1.2895	—
5	1.237	—	1.2382	—
10	1.207	—	1.2063	—
10	1.193ñ	—	1.1926	—

VARIEDADES

Han sido descritas dos variedades de vanadinita:

1º ENDLICHITA: F.A. Genth y G von Rath, Ueber Vanadate und Jodsilber von Lake Valley, Donna Anna County, New México.- Zeits.f.Krist. 10(1885) 458-474.

2º CUPROVANADINITA: F.M. Yanishevsky.- Trans. Geol. Prospecting Service USSR, Fasc. 109,pág. 19.

Se trata de una especie de vanadinita con cobre (CuO 1.55%) de Kazakhstan. No es la cuprovanadita (= chileíta) de Adam (1869). Ref.: L.J.Spencer.- Min. Mag. 24(1935)601

ENDLICHITA

F.A.Genth y G. von Rath (1885) determinan como endlíchita, variedad arsenical de vanadinita, un ejemplar de Sierra Grande, tenido hasta entonces como vanadinita.

La vanadinita arsenical ya había sido observada por Silliman en cristales de Torrence Mine, Socorro, Nuevo México.

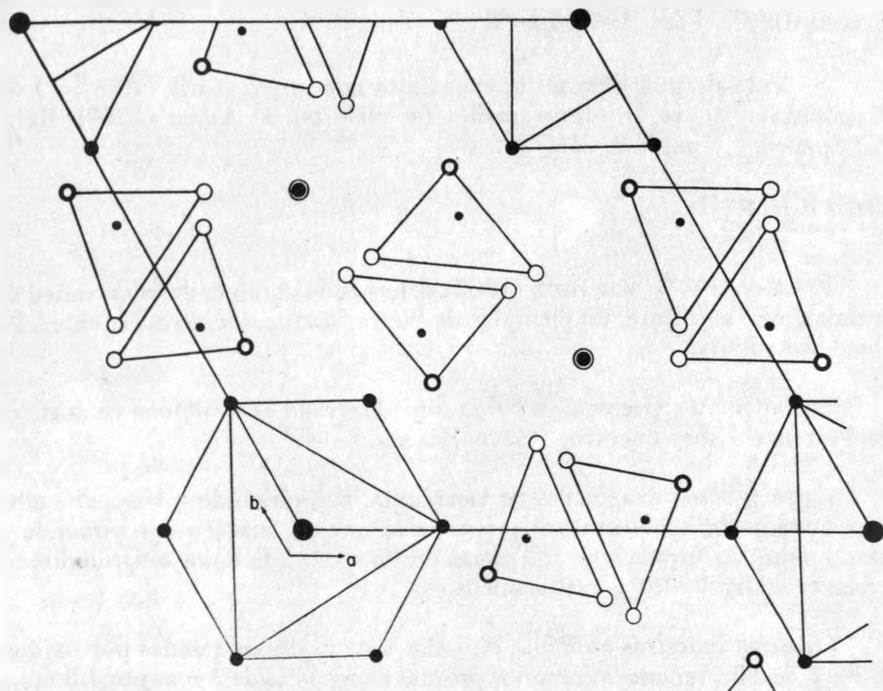
Entre prismas exagonales de vanadinita, con pirámide y base, de color rojo anaranjado, hallaron otros prismas exagonales, también con pirámide y base aunque en formaciones no claras en los cabos, de color amarillo limón y blanco amarillentos o casi blancos.

En otras muestras recibidas de Lake Valley, drusas teñidas por óxidos de Fe y de Mn, reconocieron unos prismas exagonales de 3 mm por 1.5 mm. de espesor, asimismo con pirámide y base y de color blanco amarillento o amarillo paja débil. Los cristales eran muy brillantes y con estriaciones transversas; algunos huecos y otros llenos por un polvo blanco (cristalino al microscopio) que pasa a prismas exagonales. Tanto los prismas cuanto el polvo se reconocieron ser de la misma sustancia.

Al año siguiente examina Penfield (1886) los cristales de Sierra Grand Mine, Lake Valley, Grant Co., Nuevo México, confirmando su color, hábito y estriación descritos por Genth y Rath.

Determinó unos ángulos interfaciales en comparación con los de vanadinita:

		observ.	Calculados (Penfield)	
			Endlichita	Vanadinita
x : x'	(10*1 : 01*1)	38°12'	—	—
x : x''	(10*1 : 10*1)	83°03'	81°45'	78°47'
y : y'	(20*1 : 02*1)	51°51'	51°18'	50°34'
x : y	(10*1 : 20*1)	27°44'	28°30'	28°31'



41—Proyección de la estructura de vanadinita sobre (00.1), que interpreta los mapas de las figs. 39 y 40 (Trotter y Barnes, 1958)

Del valor del ángulo $x:x'$ (10*1 : 01*1) = 38°12' calcula Penfield la relación $a : c = 1 : 0.7495$. Concluye que los ángulos de endlichita no coinciden con los calculados para vanadinita, y con base en los análisis de Genth y Rath que se exponen más adelante, decide que la presencia de As_2O_5 en la vanadinita tiende a incrementar la longitud del eje vertical.

Goldschmidt (1900) hace una medición de cristales de endlichita de Hillsboro, Arizona, más parece tratarse de una vanadinita con un poco de mimetesita en mezcla isomorfa (Hintze, 1924)

Los cristales de Saida en Orán (Lacroix, 1908) tienen vanadinita y endlichita amarillo pálida; empero son tenidos como de una vanadinita arsenical.

Años más tarde, estudia Guild (1911) unos cristales tenidos por endlichita, de Old Yuma, Tucson, Arizona. Presentan prismas m a en combinación con la base c . En la zona $m-c$ están las pirámides x y como ablación de las aristas entre m c , mientras que la cara r es rara. Esta forma no fue observada por Glodschmidt en ninguno de sus 13 cristales observados. La única pirámide medida en la zona $a-c$ es s ; la μ falta en muchos individuos y sin embargo es característica de simetría piramidal.

Guild mide dos cristales de Old Yuma: ambos tienen las mismas formas pero diferente número de caras desarrolladas:

Cara	Número de caras		φ	π	Símbolo
	Nº1	Nº2			
m	6	6	0°00'	90°00'	10*0
a	5	6	30°00'	90°00'	11*0
c	1	1	—	0°00'	00*1
r	2	4	0°00'	22°16'	10*2
x	4	5	0°00'	39°22'	10*1
y	2	2	0°00'	58°41'	20*1
s	1	2	30°00'	54°55'	11*1
	3	5	19°13'	65°15'	21*1

Los primeros análisis químicos hechos sobre cristales de la recién descubierta endlichita, fueron realizados por los mismos descubridores:

	%	Relación atómica		
Cl	2.18	0.061	=	1
As_2O_5	10.73	0.047	}	= 0.090 = 1.48
P_2O_5	ind.	—		
V_2O_5	7.94	0.043		
Pb O	79,17	0.355	=	5.82

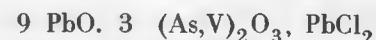
quienes hallan una composición de mimetesita y vanadinita,



que correspondería a unos porcentajes teóricos de

Cl	2.44
Pb	7.11
As ₂ O ₅	11.86
V ₂ O ₅	9.60
PbO	68.99
	100.00

Larsen y Berman (1934) le asignan la fórmula global de



y los índices de refracción $\epsilon = 2.20$, $\omega = 2.25$.

Los cristales de Hillsboro color amarillo medidos por Goldschmidt demostraron tener un poco más del 2 % de As₂O₅ los de color rojo a ámbar de Arizona dan mayor contenido de As₂O₅; todos estos hechos hacen posible la presencia del arsénico en la vanadinita en calidad de sustitución isomorfa, mas llegando a cierto límite no precisado aún ya puede hablarse de la endlichita como variedad.

El efecto de los grupos As₂O₅ en la celda reticular de vanadinita sería según Pendiell (1911) el incrementar la longitud de su eje vertical, darle un color amarillo en tonos varios y disminuir sus índices de refracción.

CELDA ELEMENTAL

Para la verificación de las dimensiones de la celda elemental y determinación de su grupo espacial correspondiente, se obtuvieron dos diagramas de precesión (ecuatorial y de primer nivel) $\bar{\mu} = 25^\circ \text{ CuK}\alpha$, y dos de Weissenberg (ecuatorial y equi-inclinación para el primer nivel), radiación asimismo $\text{CuK}\alpha$.

De su medición se pudieron promediar las dimensiones de la celda exagonal, confirmando las obtenidas por el método de Ito sobre diagramas de Debye:

$$a_0 = 10.325 \quad c_0 = 7.343 \quad A \quad c_0/a_0 = 0.711186$$

$$y = 120^\circ$$

con el cálculo de

$$V = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c = 677.929107 \text{ A}^3$$

Los cálculos sobre la posible celda reducida demostraron ser idéntica a la primitiva aceptada.

Sus dimensiones recíprocas se calcularon en:

$$a^* = 0.111835 \quad c^* = 0.136184 \quad c^*/a^* = 1.217722$$

$$\gamma^* = 60^\circ$$

$$V^* = 0.001475$$

En 1923 estableció Hentschel el grupo espacial del apatito y midió las dimensiones de su celda elemental: se tenía a la vanadinita como isotópica, aunque sin afirmar definitivamente juicio alguno sobre su estructura. Las determinaciones de sus dimensiones reticulares diferían bastante: para

$$\begin{array}{lll} \text{Mehmel,} & a_0 = 10.47 & c_0 = 7.43 \text{ A} \\ \text{Hendricks,} & a_0 = 10.31 & c_0 = 7.34 \text{ A (aunque probablemente} \end{array}$$

se trata de kX).

Trotter y Barnes Atribuyen estas diferencias a su calibración de cámaras

En 1931, Hendricks, Jefferson y Mosley determinan para la vanadinita las dimensiones elementales.

$$a_0 = 10.31 + 0.02 \quad c_0 = 7.34 + 0.02 \text{ A}$$

$$c_0/a_0 = 0.7122$$

con un volumen molecular de $V = 409 \text{ cm}^3$.

Dana (1957) cita en su obra estas dimensiones, aunque les atribuye la unidad kX.

Totter y Barnes (1958) obtuvieron varios diagramas de precesión (técnica de exposición múltiple), niveles 0 y superiores, $\bar{\mu} = 30^\circ$, $\text{MoK}\alpha$. No irradiaron directamente cristales enteros de vanadinita, sino trozos reducidos a esferas por el procedimiento de Bond (1951) para facilitar las correcciones de absorción en las intensidades, grandes aquellas para la radiación de $\text{MoK}\alpha$ que utilizaron.

Realizaron las correcciones de Lorentz y de polarización (Waser 1951), las propias de la forma esférica de la muestra (Evan, Ekstein 1952). Para el cálculo de intensidades se sirvieron de las fórmulas correspondientes a cristal mosaico, estableciendo la escala absoluta por comparación con la de valores F recalculados a partir de las coordenadas atómicas finales. Fijan las dimensiones de la celda por diagramas oscilantes de retroceso, $\text{CuK}\alpha_1$ 1.5405, $\text{CuK}\alpha_2$ 1.5443, por el método de Farquhar y Lipson (1947):

$$a_o = 10.33 \pm 0.001 \quad c_o = 7.343 \pm 0.001 \quad \text{A}$$

En 1962 repite Barnes las determinaciones de la celda elemental que calculó con Trotter 4 años antes, en ocasión de un estudio muy minucioso que publicó sobre el diagrama de polvo de vanadinita. Encontró.

$$a_o = 10.3252 \pm 0.001 \quad (\text{radiación de MoK}\alpha)$$

$$a_o = 10.3249 \quad \text{A} \quad (\text{radiación de MoK}\alpha)$$

y

$$c_o = 7.3428 \quad \text{A} \quad (\text{radiación de CuK}\alpha)$$

$$c_o = 7.3425 \quad \text{A} \quad (\text{radiación de MoK}\alpha)$$

con el método preconizado por Azaroff y Buerger (1958)

Las medias de esas determinaciones fueron

$$a_o = 10.331 \pm 0.001 \quad c_o = 7.343 \pm 0.001 \quad \text{A}$$

mas repitiendo las extrapolaciones se decide por las

$$a_o = 10.331 \pm 0.001 \quad c_o = 7.343 \pm 0.001 \quad \text{A}$$

que son las que acepta en su cálculo de estructura. No obstante, parecen más satisfactorios los valores medios anteriores a que llegó, por lo verificado al tratar de los diagramas de polvo (Cf. pág. 108) y por las mediciones propias de que se dió cuenta al principio de este epígrafe.

CONTENIDO DE LA CELDA ELEMENTAL

Admitidas las dimensiones de

$$a_o = 10.325 \quad c_o = 7.343$$

para la celda elemental de vanadinita, que se calcularon en el epígrafe anterior, y su composición de $\text{Pb}_5[\text{Cl}(\text{VO}_4)_3]$, de su volumen $V = 677.9483 \text{ A}^3$ y peso molecular $M = 1416.357$, resulta

$$Z = \frac{D \cdot V \cdot 10^{-24}}{M \cdot 1.660 \cdot 10^{-24}} = \frac{6.914 \cdot 677.9483}{1416.357 \cdot 1.660} = 1.993632 \approx 2$$

aceptando la densidad observada $D = 6.914$

Este coeficiente $Z = 2$ es el determinado por los otros autores que se ocuparon del problema, Hendricks et al. (1932) y Trotter y Barnes (1958). Sin embargo, para unas dimensiones de celda casi iguales a las aceptadas, Hendricks da en su trabajo un cálculo de $V = 409 \text{ cms}^3$, asignando para la misma fórmula $M = 2832.6$. Es evidente que su peso molecular se refiere a las dos moléculas que entran en la celda, mas entre los volúmenes no hay correspondencia.

GRUPO ESPACIAL



Según Hendricks, Jefferson y Mosley (1931) el grupo espacial a que pertenece la vanadinita es el exagonal $C_{6h}^2 - C 6_3/m - H_4^2$ de la hemiedría paramórfica.

Tanto Strunz (1940) cuanto Dana (1954) atribuyen a la vanadinita ese mismo grupo espacial, que desde luego, está en conformidad con las previsiones de Penfield y de Goldschmidt (Cf. pág. 64) hechas con base en caracteres puramente morfológicos, y con las formas de corrosión de los cristales de vanadinita.

Trotter y Barnes aceptan ese mismo grupo $C_{6h}^2 - P 6_3/m - H_4^2$ probablemente por determinaciones propias o quizás influenciados por el parecer de los autores anteriores.

A partir de los diagramas de precesión y de Weissenberg, obtenidos para la determinación de las dimensiones de la celda elemental, se pudo confirmar la existencia de los reflejos que llevan al grupo asignado. Es notable la unidad existente a esta determinación.

PREVISION DE LA ESTRUCTURA

La estructura de la vanadinita se determinó por el método de "trial and error" tomando como base de comparación las estructuras ya establecidas para otros minerales del grupo, con los que tiene reconocidas afinidades.

Náray-Szabó (1930), Mehmel (1930, 1932), Hendricks, Jefferson y Mosley (1932) (Strukturbericht II y Wyckoff (1931, 1935, 1951) publicaron los resultados de las investigaciones sobre la estructura cristalina del apatito y de otros minerales isoestructurales, del grupo espacial $P 6_3/m$ con $Z = 2$, de fórmula $A_5(XO_4)_3 Z$ (con A iones metálicos divalentes, X pentavalentes y Z aniones monovalentes). Se ha discutido sobre la admisibilidad de algunos de esos compuestos entre las estructuras tipo apatito; mas se ha llegado a tener como indudables la de fluor-apatito, clorapatito, piromorfita, mimetesita y vanadinita.

Hendricks, Jefferson y Mosley (1931) antes de verificar las suposiciones estructurales en los cristales de vanadinita, opinan en favor de una gran semejanza con la de mimetesita, aunque las dimensiones de ambas especies sean ligeramente diferentes: la comparación de los grandes iones V^{5+} de la otra explican el incremento que se nota en el parámetro a_0 .

De la investigación directa de la estructura de vanadinita como ortovanadato se deduce la coordinación tetraédrica interesante del O en derredor del V, que en vanadinita se halla como en los minerales pucherita, $BiVO_4$ (Qurashi y Barnes, 1953), descloizita $Pb(Zn,Cu)(VO_4)OH$ (Qurashi y Barnes 1954), pirobelenita $Pb, Mn(VO_4)OH$ y brackebuschita $Pb_2(Mn,Fe)(VO_4)_2 \cdot H_2O$ (Donaldson y Barnes, 1955).

ANALISIS DE LA ESTRUCTURA

Según Hendricks, Jefferson y Mosley (1931), las posiciones equivalentes en el grupo espacial $P 6_3/m$ ocupadas por varios átomos de piromorfita y de mimetesita, son:

$$b) \quad 000, 00\frac{1}{2}$$

Con 2 átomos de Cl.

$$f) \quad \pm \left(\frac{1}{3} \frac{2}{3} z ; \frac{1}{3} \frac{2}{3} \frac{1}{2} - z \right)$$

Con 4 átomos de Pb

$$h) \quad \pm \left(x y \frac{1}{4} ; \bar{y} x-y \frac{1}{4} ; y-x x \frac{1}{4} \right)$$

Con 6 átomos de Pb_{II}

$$6 \left\{ \begin{array}{l} \text{Tratándose de piromorfita: } 6 P \\ \text{Tratándose a mimetesita: } 6 As \end{array} \right.$$

Con 6 O_{II}

$$i) \quad \pm \left(x y z ; \bar{y} x-y z ; y-x \bar{x} z ; x y \frac{1}{2} - z ; \bar{y} x-y \frac{1}{2} - y-x \bar{x} \frac{1}{2} - z \right)$$

Con 12 átomos de O_{III}

Trotter y Barnes (1958) estudiaron las proyecciones de la estructura de vanadinita sobre los planos de las zonas (hk^*O) y (hO^*1).

Se tuvieron en cuenta 80 de las 93 manchas independientes posibles, con $\text{sen} \leq 0.5$ (rad $MoK\alpha$).

Mediante una síntesis de Patterson se precisaron las localizaciones de átomos de Pb: con ella se confirmó la previsión de ocupar con toda probabilidad los mismos lugares que en mimetesita. Por consiguiente, se admitieron para los átomos de plomo las localizaciones:

$$4 Pb_I \text{ en posición (f)}$$

$$6 Pb_{II} \text{ en posición (h)}$$

Para su verificación se trazó un mapa de densidad electrónica mediante la síntesis de Fourier con base en las amplitudes observadas y signos calculados, admitiendo estas coordenadas de los átomos de Pb, con ligero desplazamiento de 0.1 A en la posición del Pb_{II} . En ese mapa aparecieron además las localizaciones de los 2 Cl (puntos (b)) y las de los 6 V (puntos (h)), correspondiendo a los 6 As de la mimetesita. Se hallan 2 O_{III} en posiciones (i).

Para completar la hipótesis entre la analogía de ambas estructuras, vanadinita y mimetesita, debería haber también máximos de O_I y O_{II} en series separadas de posiciones (h): de hecho se hallaron unos pequeños, que se pierden en los alrededores del Pb.

Con ese mapa de densidad electrónica se desvanece por completo la duda sobre la semejanza estructural de nuestro mineral con clorapatito, piro-morfita y mimetesita.

Así se fijan en definitiva las coordenadas atómicas:

Átomos	x	y	z
Pb (I)	0.33333	0.66666	0.0054
Pb(II)	0.2558	0.0107	0.25
V	0.4046	0.3787	0.25
Cl	0	0	0
O(I)	0.3309	0.5005	0.25
O(II)	0.6006	0.4604	0.25
O(III)	0.3812	0.2873	0.0463

Coefficiente de exactitud 0.12 — 0.16

Las diferencias entre las coordenadas fraccionales de vanadinita y las correspondientes dadas por Hendricks (1932) para piromorfita y mimetesita, van de 0.02 a 0.04 en lo referente a los átomos de O, y es de 0.01 con respecto a los átomos pesados.

CONFIGURACIONES Y DISTANCIAS INTERATOMICAS

A. Coordinación tetraédrica de Pb_{II}^{+2} en derredor de Cl^{-1} , y coordinación tetraédrica de átomos de O en derredor del V.

a). Cada Cl^{-1} rodeado por 6 Pb_{II}^{-2} en los vértices de octaedro, con distancias $Pb_{II}-Cl = 3.17$ A.

Distancias menores $Pb_{II} - Pb_{II}$ en aristas de octaedro, 4.48 A

Distán del Pb_{II} :

O_I	3.17 A
2 O_{III}	2.89
O_{II}	2.54
2 O_{III}	2.52

Los octaedros de Pb_{II} forman cadena en la dirección del eje z.

b). Los grupos VO_4 en tetraedros aislados no regulares, con distancias entre O — O de 2.56 a 3.01 A

ángulos O — V — O de $94^\circ - 121^\circ$.

Distán del V:

O_I y O_{II}	1.76 A
2 O_{III}	1.72

B. Cada Pb_I rodeado por 9 O :

3 O_I	2.47	de 6 tetraedros separados, de VO_4
3 O_{II}	2.57	
3 O_{III}	2.76	
3 Pb_{II}	4.29	
3 Pb_{II}	4.39	

C. Las menores distancias entre

Pb_{II} y V, son de 3.31, 3.69, 3.79, 3.96 A

Pb_I y V, son de 3.51, 4.06

V y V, son de 4.32 (relacionados por centro de simetría).

COMPARACION DE DISTANCIAS INTERATOMICAS CON OTRAS ESTRUCTURAS

Es interesante comparar algunas de las distancias interatómicas de vanadinita con las de pirobelonita y de brackebuschita, no obstante sus diferencias estructurales.

Aunque los tetraedros VO_4 tengan distorsión diferente entre esos minerales, los enlaces V — O de la vanadinita permanecen sensiblemente iguales a los de las otras especies:

distancias V—O en vanadinita	son de 1.72 a 1.76 A
distancias V—O en pirobelonita	entre 1.62 y 1.83 A
distancias V—O en brackebuschita	entre 1.71 y 1.90 A.

Los enlaces O—O que en vanadinita son de 2.56 A, resultan más cortos que en pirobelonita (2.72 — 2.99) o que en brackebuschita (2.75 — 3.02). Son en cambio casi iguales a los de pucherita (2.50)

En cambio, no se descubre regularidad alguna en el número o distribución de los elementos electronegativos en derredor de los cationes de Pb, en ninguno de los tres minerales:

—vanadinita: de un átomo de Pb_I distan 9 0 (2.47 — 2.76)
 de un átomo de Pb_{II} distan 6 0 (2.52 — 3.17)
 2 Cl (3.17)

Pb — Pb 4.29
 V — V 4.32
 Pb — V 3.31

—pirobelonita: de un átomo de Pb distan 7 0 (2.28 — 2.89)

Pb — Pb 4.07
 V — V 4.01
 Pb — V 3.47

—brackebuschita: de un átomo de Pb_I distan 8 0 (2.54 — 2.95)
 de un átomo de Pb_{II} distan 10 0 (2.58 — 3.02)

Pb — Pb 4.04
 V — V 3.80
 Pb — V 3.48

BIBLIOGRAFIA

- BRACKENBUSCH. L., RAMMELSBURG. C. v (1880).- *Monatber.der Akad. Berlin* (1880)652.
- WEBSKY. M. (1881).- *Ueber Descloizit und Vanadinit aus La Plata.*
Z.f.K. 5(1881)542-553.
- FRENZEL.- *Min. Mitt.* 3(1881)505
- BLAKE. W. P. (1881).- *VORKOMMEN VON BLEIVANADAT in Castle Dome District Arizona.*
Mining and Scientific Press. Agosto 13(1881)
Z.f.K. 6(1882)522
- SILLIMAN. B. (1881).- *Mineralogical Notes I. Vanadinite and other Vanadates, . . . from Arizona.*
Amer. Journ.Sciend. (III) 22(1881) 198.
Ref: *Z.f.K.* 6(1881)521
- DORING (1883).- *Bol. Acad.Cienc. Córdoba* 5(1883)498
- GENTH. F. A. y v. RATH. G. (1885).- *Ueber Vanadate und Jodsilber von Lake Valley, Donna Anna County, New Mexico.*
Z.f.K. 1^o (1885)458-474.
- AEZRUNI. A. (1885).- *Z.f.d.Geol.Ges.* 37(1885)557
- PENFIELD. S. L. (1886).- *Crystallized Vanadinite from Arizona and New Mexico.*
Amer. Journ. Sc. 32(1886)441.
- SMITH. W. B. (1890).- *MINERALOGISCHE NOTIZEN II. Vanadinkristalle*
Z.f.K. 17(1890)416.
- GENTH. J. A. (1887).- *Amer.Philos.Soc. (1887).* marzo 18 *Proceed.* 22(1885)365.
- ZEPHAROVICH. V. V. (1888).- *Naturwiss. Jahrb. Lotos (1888)*
Ref.: *Z.f.k.* 20(1888)294
- COLLIE. N. (1889).- *Journ of the Chem.Soc. London* 55(1889)91.
- SMITH. W. R. (1890).- *Proceed.Colorado Scientif. Soc.* 2, 3 part.
Ref.: *Z.f.k.* 17(1890)416

- WEINSCHENK. E. (1890).- Beiträge zur Mineralsynthese II. Die Mineralien der Apatitgruppe auf nassen Wege dargestellt.
Z.f.K. 17(1890)486.
- RAMIREZ. S. (1891).- Biografía del Sr. D. Andrés Manuel del Río Imp. del Sdo. Corazón de Jesús, México, 1891.
- BRUNLECHNER. (1892).- Carinthia 2.2 (1892)
- DEL RIO. Andrés Manuel. (1800).- Discursos de las Vetas, pronunciados por ... en los ejercicios del Real Seminario de Minería
Gazeta de México, supl. 18 nov.1800 y 12 nov.1802
Anales de Historia Natural. Madrid, vol.5, (1904) pags. 25-38; 30-40l
- CAVANILLAS. Antonio. (1803).- Género Pancromo
- BRONGNIART.A. (1807).- Traité Élémentaire de Minéralogie, 2 vols. Paris 2(1807)204.
- CORDIER.L. (1819).- Extrait d'un article de M.del río sur la découverte du chrome dans le plomb brun de Zimapan.
Anales des Mines 4(1819)499-500.
- ROSE. G. (1833).- Pogg. Ann.d.Physik 29(1833)455
- DEL RIO. A.M. (1835).- Del Zimapanio
Revista Mexicana 1.2 (1835)183-185.
- THOMSON. T. (1836).- Outlines of Mineralogy, Geology, and Mineral Analysis. 2 vols.
London 1(1836)573.
- ROSE. G. (1837).- Reise n. dem Ural, dem Altai und dem kaspischem Meere, Berlin 1(1837)209.
- KOBELL. FR. V. (1838).- Grundzüge der Mineralogie
Nürnberg (1838)283.
- KOKSCHAROW. N. V. (1856).- Mater.z.Mineralogie. Rusia.
Petersburg II(1856)372.
- RAMMELSBERG. C. (1856).- Poggendorff's Annalen 98(1856)249

- SCHABUS. J. (1857).- Poggendorff's Annalen 100(1857)297
- ZEPAROVICH. V.V. (1865).- Sitasungsber.d.königl.Gesellsch.d.Wissenschaften. Prag. (1865)12.
- ZEPHAROVICH. V.V. (1873).- Min.Lexikon f.d.k. Oesterreich 2(1873)335
- NORDENSTROM. G. (1879).- Mineralogiska notiser. 2.Vanadinmineral för första gängen träffadt i Sverige.
Geolog. Förening. i Stock. Förhandl. 4.7 (1879)209
- VRBA. C. (1880).- Mineralogische Notizen.- 4. Vanadinit von den Obir in Kärnten.
Z.f.K. 4(1880)353-357.
- SCHALLER. W. T. (1911).- Journ. Wash. Acad.Sc. I(1911)149
- EISSNER. W. (1913).- Diss. Leipzig 16(1913).
- WAGNER. P. A. (1921).- A new occurrence of Vanadinite in the Marico District. Transvaal.
- BARTHOUX. M. J. (1922).- Minéraux de la région d'Oudjda (Maroc). Compt. Rend.Acad.Scienc., Paris 175(1922)312-314.
Ref.: Chem.Z.Bl. (1922) 1119.
- GOLDSCHMIDT. V. (1923).- Atlas der Krystallformen, 9 vols. Heidelberg 9(1923)49
- HINTZE. C. (1924).- Handbuch der Mineralogie. I(4A) 1924)608
Verlag Veit. Leipzig (1924)
- BARTHOUX. M. J. (1924).- Description de quelques minéraux marrocains.
Bull. Soc. Franc. Miner. 47(1924)36
- COMUCCI. (1926).- Acc. Lincei. Att. (VI) 3(1926)335
- SALAZAR SALINAS. R. (1928).- Elementos de Geología (No. 552 de pág. 161)
Talleres Gráficos. México (1928)
- MELLOR. J. W. (1929).- A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry. 16 vols.
London. 9(1929)809.

- LIETZ, J. (1931).- Beiträge zur Kenntniss der Pyromorphit-Mimetesit-Vanadinit Gruppe.
Z.f.K. 77(1931)437
- HENDRICKS, S. B., JEFFERSON, M. E. y MOSLEY, V. M. (1931).- The Crystal Structures of some natural and synthetic apatite-like substances.
Z.f.K. (A) 81(1931) 352-269
Ref.: Strukturbericht 2(1928-1932)458
- JANISHEVSKI, E. (1931).- The Suleiman-Sai Lead-Vanadium Deposit in Kazakstan.
Trans.Geol.Prospect.Serv.USSR.Fasc. 109(1931)19
Min.Mag. 24(1937)607.
- LANDERO, C. F. (1934).- Nota sobre los minerales primeramente descubiertos en México.

Mem. y Rev.Acad.Nac.Ciencias Antonio Alzate 54(1934)388
- LARSEN, E. S. y BERMAN, H. (1934).- The Microscopic determination of the nonopaque Minerals (II Ed.)
Geol.Surv.Bull. 848(1934)93 y 228
- SPENCER, L. J. (1935).- Fourteenth list of new mineral names. Mineral. Mag. 24(1935)601
Ref.: Janishevsky (1931).
- ARGALL, G. O. (1943).- The Occurrence and production of vanadium Colorado School of Mines. Quarterly 38.4(1943)
- HEWETT, D. F. (1947).- The Story of Mina Ragra. Premier Vanadium Find. Engin. & Mining Journ. 148.1(1947)59-63.
- ARNAIZ Y FREG, A. (1948).- Don Andrés del Río, descubridor del Eritronio (Vanadio).
Editorial Cultura. México (1948).
- PORTER, M.W. y SPILLER, R. C. (1951).- The Barker Index of Crystals. Vol. I, Parte 2.
Heffer. Cambridge (1951).
- DONNAY, J. D. C. y NOWACKI, W. (1954).- Crystal Data.
Geol.Soc.Amer., Memoir 60(1954)

- PALACHE, C. H, BERMAN, H. y FRONDEL, C. (1957).- The System of Mineralogy (VII Ed).
Wiley, New York (1957).
- DANA (1957).- Dana's System of Mineralogy: Cf. PALACHE et Alt.(1957)
- TROTTER, J. y BARNES, W. H. (1958).- The Structure of Vanadinite. The Canadian Mineralogist. 6.2(1958)161-173
- BARNES, W. H. (1962).- The X-Ray Diffraction Powder Pattern of Vanadinite.
The Canadian Mineralogist 7.2(1962)301-306.
- WEY, R. (1955).- These Sciences physiques
Strasbourg (1955)
- DURAND, G. (1958).- Contribution à l'étude du gîte de vanadinite d'Herival.
Bull.Soc.Franç.Minér.Crist. 81(1958)61-63
- ZEPHAROVICH, V. V. (1892).- Mineralogische Notizen: M.XI.4.
Z.f.K. 20(1892)294.
- SMITH, G. (1893).- Journ.Roy.Soc.New S. Wales 37(1893)368
- SCHALLER, W. T. (1895).- U.S.Geol.Surv.Bull. 262(1895)135
- SCHROEDER VAN DER KOLK.- Zet. Anal.Chem (1899, año 38)656
- G'OLDSCHMIDT, V. (1900).- Z.f.K. 32(1900)561
- HEDDLO, F. (1901).- The Mineralogy of Scotland.
Edinburg (1901)161.
- TENNE-CALDERON, (1902).- Die Mineralfundstätten der Iber. Halbinsel.
Berlin (1902)242.
- RODENBENDER, W. (1901).- Z.f.prakt.Geol. 9(1901)211.
- KRUSH, P. (1901).- Z.f.prakt.Geol. 9(1901)211.
- BOWMAN, H. L. (1903).- Note of the refractive indices of Pyromorphite,

Mimetite and Vanadinite.

Miner.Mag. 13(1903)324-329.

D'LOVISATO (1903).- Rend.R.Acad.Lincei (Va)12(1903)391.

CALDERON, G. J. (El vanadio en Charcas, de San Luis Potosí,

CALDERON, G. J. (1903).- El vanadio en Charcas, de San Luis Potosí,
México.

Mem.Soc.Científica Antonio Alzate 20(1903)87-98

D'LOVISATO (1904).- Rend.R.Acad.Lincei (V) 13(1904)43

SIGMUND, A. (1904).- Tscherm.Mitt. 23(1904)87

SCHALLER, W. T. (1905).- Mineralogical Notes. No. 18 Vanadinite. En la
parte "Contributions to Mineralogy from the U.S.Geol.Survey.
U.S.Geol.Surv.Bulletin 262(1905)135.GROTH, P (1908).- Chemische Krystallographie. II Teil, págs. 827. Engelmann.
Leipzig (1908).

SPENCER, L. J. (1908).- Miner. Magazine. 15 (1908)36

LACROIX, A. (1908).- Bull. Soc.Miner.France IV (.908)410.

HEISTER, A. L. (1908).- Vanadinitvorkommen bei Magdalena, New-Mexiko.
Eng.Min.Journ. 85(1908)246
Z.f.K. 48(1911)121.LACROIX, A. (1910).- Minéralogie de la France et de ses Colonies Paris
4(1910)413GUILD, F. N. (1911).- Mineralogische Notizen. Vanadinit.
Z.f.K. 49(1911)325.

- 50.—*Las Meteoritas Mexicanas*, por JOSE C. HARO, 1931. \$ 50.00 M.N. \$ 5.00 Dlls.
- 51.—*Zonas Mineras de los Estados de Jalisco y Nayarit*, por TOMAS BARRERA, 1931. Agotado. Out of Print.
- 53.—*Topografía Sepultada en la Región de Santa Rosalía, B. C.*, por IVAN F. WILSON, 1948. \$ 25.00 M.N. \$ 2.50 Dlls.
- 54.—*Paleontología y Estratigrafía del Plioceno de Yepómera, Edo. de Chihuahua (Primera Parte)*, por JOHN F. LANCE, 1950. \$ 25.00 M.N. \$ 2.50 Dlls.
- 55.—*Los Estudios Paleobotánicos de México*, por MANUEL MALDONADO KOERDELL, 1950. \$ 25.00 M.N. \$ 2.50 Dlls.
- 56.—*Las Provincias Geohidrológicas de México*, (Segunda Parte), por ALFONSO DE LA O. CARREÑO, 1954. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 57.—*Espeleología Mexicana, Cuevas de la Sierra Madre Oriental de la Región de Xilitla*, por FEDERICO BONET, 1953. Agotado. Out of Print.
- 58.—*Geología y Paleontología de la Región de Caborca*, por G. ARTHUR COOPER y otros, 1954. Agotado. Out of Print.
- Pt. III.—*Fauna Pérmica de El Antimonio, Oeste de Sonora, México*, por G. ARTHUR COOPER y otros, 1965. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 59.—*Los Depósitos de Bauxita en Haiti y Jamaica y posibilidades de que exista Bauxita en México*, por GUILLERMO P. SALAS, 1959. \$ 30.00 M.N. \$3.00 Dlls.
- 60.—*Geología del Estado de Morelos y de Partes Adyacentes de México y Guerrero, Región Central Meridional de México*, por CARL, FRIES, JR., 1960. \$ 50.00 M.N. \$ 5.00 Dlls.
- 61.—*Fenómenos Geológicos de Algunos Volcanes Mexicanos*, por LUIS BLASQUEZ L., ARMANDO REYES LAGOS, FEDERICO MOOSER y JOSE L. LORENZO, 1961. \$ 20.00 M.N. \$ 2.00 Dlls.
- 62.—*Reconocimiento Geológico en la Sierra Madre del Sur, entre Chilpancingo y Acapulco, Edo. de Guerrero*, por ZOLTAN DE CSERNA, 1965. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 63.—*Contribución al Estudio de Minerales y Rocas*, por EDUARDO SCHMITTER y RUTH ROJAS DE GOMEZ, 1962. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 64.—*Estudios Geocronológicos de Rocas Mexicanas*, por CARL FRIES JR. 1962. Agotado. Out of Print.
- 65.—*Estudios Mineralógicos y Petrográficos del Casquete y la Sal de Algunos Domos Salinos del Istmo de Tehuantepec, México*, por SALVADOR ENCISO DE LA VEGA, 1963. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 66.—*Revisión Crítica de los Minerales Mexicanos*, BOLEITA, por FRANCISCO J. FABREGAT, 1963. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.

- 67.—Pt. I.—*Salinidad, Batimetría, Temperatura y Distribución de los Sedimentos Recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*, por AMADO YAÑEZ CORREA, 1963. \$ 25.00 M.N. \$ 2.50 Dlls.
- Pt. II.—*Sistemática y Distribución de los Géneros de Diatomeas de la Laguna de Términos, Campeche, México*, por ANGEL SILVA B., 1963. \$ 25.00 M.N. \$ 2.50 Dlls.
- Pt. III.—*Sistemática y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*, por AGUSTIN AYALA CASTAÑARES, 1963. \$ 75.00 M.N. \$ 7.50 Dlls.
- Pt. IV.—*Sistemática y Distribución de los Micromoluscos Recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*, por ANTONIO GARCIA CUBAS, 1963. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 68.—*Sistemática y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la "Playa Washington" al S.E. de Matamoros, Tamps.*, por LUIS RAFAEL SEGURA V., 1963. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 69.—*Geología del Area delimitada por el Tomatal, Huitzucó y Mayanalán, Estado de Guerrero* por JOSE MA. BOLIVAR, 1963. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 70.—*Derrames Cineríticos Las Américas de la Región de El Oro Tlalpujahua, Estados de México y Michoacán*, parte centromeridional de México por CARL FRIES JR., C. S. ROSS y ALBERTO OBREGON PEREZ. En preparación. Being prepared.
- 71.—*Estudios Geológicos en los Estados de Durango y San Luis Potosí*, por DIEGO A. CORDOBA, EUGENIO CSERNA y ALEJANDRO BELLO BARRADAS, 1963. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 72.—*Revisión Crítica de los Minerales Mexicanos*, LA PLUMOSITA, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1964. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 73.—*Contribuciones del Laboratorio de Geocronometría*. Partes I-III.
- Pt. I.—*Discusión de Principios y Descripción de la Determinación Geoquímica por el Método Plomo Alfa o Larsen*, por CESAR RINCON ORTA, 1965.
- Pt. II.—*Nuevas aportaciones Geocronológicas y Técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría*, por CARL FRIES, JR. y CESAR RINCON ORTA, 1965.
- Pt. III.—*Compendio de Edades de Radiocarbono de Muestras Mexicanas de 1962 a 1964*, por JOSEFINA VALENCIA y CARL FRIES, JR., 1965. \$ 45.00 M.N. \$ 4.50 Dlls.
- 74.—*Estudio Geológico en el Estado de Chihuahua*. Partes I-II.
- Pt. I.—*Estudio Geológico en el Estado de Chihuahua*, por LUTHER W. BRIDGES. Geología del Area de Plomosas.
- Pt. II.—*Notas sobre la Geología de la Región de Placer de Guadalupe y Plomosa, Chih.* por ZOLTAN DE CSERNA, 1966. \$ 45.00 M.N. \$ 4.50 Dlls.
- 75.—*Estudios Mineralógicos*, por RICHARD V. GAINES:
- 1.—*Mineralización de Telurio en la Mina La Moctezuma, cerca de Moctezuma, Sonora.*
- 2.—*Métodos de Laboratorio para la Separación y Purificación de Muestras Minerales*, 1965. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 76.—*Estudios de Mineralogía*. Partes I-III.
- Pt. I.—*Los Minerales de Manganeso de Molango, Hgo.*, por LIBERTO DE PABLO GALAN.
- Pt. II.—*Caolinita de Estructura Desordenada de Concepción de Buenos Aires, Edo. de Jalisco, México*, por LIBERTO DE PABLO GALAN.
- Pt. III.—*Nota Preliminar sobre la Identificación por Rayos X, de Oxido Tálico Tl_2O_3* por JESUS RUIZ ELIZONDO, GLORIA AVILA I., OCTAVIO CANO CORONA y GLORIA AYALA ROJAS 1965. \$ 35.00 M.N. \$ 3.50 Dlls.
- 77.—*Los Minerales Mexicanos*, 3. DURANGITA, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1966. \$ 45.00 M.N. \$ 4.50 Dlls.
- 78.—*Los Minerales Mexicanos*, 4. CUMENGEITA, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1966. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 79.—*Los Minerales Mexicanos*, 5. LIVINGSTONITA, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1966. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 80.—*"Biogeología Subsuperficial del Arrecife Alacranes, Yucatán"*, por FEDERICO BONET. 1967 \$ 60.00 M.N. \$ 6.00 Dlls.
- 81.—*Ecology Distribution and Taxonomy of Recent Ostracoda of Laguna de Términos, Campeche, México*, por GUSTAVO A. MORALES. \$ 50.00 M.N. \$ 5.00 Dlls.
- 82.—*Estudios de Geocronometría y Mineralogía*.
- Pt. I.—*Edad de Tres Rocas Intrusivas en la Parte Centro Septentrional de México*, por JERJES PANTOJA ALOR y CESAR RINCON ORTA.
- Pt. II.—*Nuevos datos sobre Mackayita*, por RICHARD V. GAINES.
- Pt. III.—*Ilvaita de El Guariche, Mich.* por LIBERTO DE PABLO.
- Pt. IV.—*Cálculo Cristalográfico*, por FRANCISCO J. FABREGAT y RICARDO ESQUIVEL ESPARZA, 1967. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 83.—*Los Minerales Mexicanos*, 6. JALPAITA por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1967. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 84.—*Sedimentología de la Laguna Madre, Tamaulipas*.
- Pt. I.—*Composición y distribución de los Sedimentos Recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas*, por AMADO YAÑEZ y CARMEN SCHLAEPFER. 1968.

Pt. II.— <i>Minerales Pesados de los Sedimentos de la Laguna Madre, Tamaulipas</i> , por CARMEN J. SCHLAEPFER, 1968.	\$ 40.00 M.N.	\$ 4.00 Dlls.
85.— <i>Los Minerales Mexicanos</i> , 7. VANADINITA y ENDLICHITA, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1970.	\$ 50.00 M.N.	\$ 5.00 Dlls.
86.— <i>Ecología y Distribución de los Micromoluscos Recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas, México</i> , por ANTONIO GARCIA CUBAS JR., 1968.	\$ 50.00 M.N.	\$ 5.00 Dlls.
87.— <i>Ecología y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas, México</i> , por AGUSTIN AYALA-CASTAÑARES y LUIS R. SEGURA., 1968.	\$ 50.00 M.N.	\$ 5.00 Dlls.
88.— <i>Geología Marina de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México</i> , por RODOLFO CRUZ.	\$ 40.00 M.N.	\$ 4.00 Dlls.

Para su adquisición dirijase al:
 Instituto de Geología, Oficina de Publicaciones — Ciudad Universitaria.
 México 20, D. F.

Se terminó de imprimir este libro el día
 31 de julio de 1970, en los talleres de
 OFFSET ALTAMIRA, S. A., Calle
 Norte 35 No. 826, México 15, D. F. Se
 imprimieron 1,200 ejemplares.