

# REFLECTANCIAS EN TRES MIEMBROS DE LA SERIE DE LAS TURMALINAS

C. MARCOS, M. BLANCO Y M. L. VALIN

TRABAJOS DE  
GEOLOGIA

Marcos, C., Blanco, M. y Valín, M. L. (1984).—Reflectancias en tres miembros de la serie de las turmalinas. *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 15, 275-284. ISSN 0474-9588.



En el presente trabajo se estudian las variaciones de la reflectancia de tres ejemplares: chorlo, dravita y elbaita, pertenecientes a la serie isomorfa de las turmalinas. Los datos experimentales se han obtenido utilizando un equipo fotométrico VICKERS, con incidencia normal, en el rango de 460 a 700 nm del espectro visible. A partir de los valores de reflectancia se han obtenido los índices de refracción, por derivación de las fórmulas de Fresnel.

In the present work the variations in the reflectance of three samples: schorlo, dravite and elbaita of the tourmalines isomorph serie, have been studied. Experimental data have been obtained using a VICKERS microphotometer, under normal incidence, in the visible range from 460 to 700 nm. The refractive index have been obtained from reflectance data by derivation the Fresnel's equation.

*Celia Marcos, Marta Blanco y M.<sup>a</sup> Luz Valín, Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Geología, Universidad de Oviedo, España. Manuscrito recibido el 12 de noviembre de 1984.*

## INTRODUCCIÓN

En el caso de la microscopía con luz incidente en superficies pulidas, el fenómeno fundamental que tiene lugar es el de la reflexión especular.

Cuando un haz de luz incide sobre la superficie de separación de dos medios, parte del haz pasa al segundo medio, se refracta, y parte se refleja. La relación  $R = I_r/I_0$  entre la intensidad energética del haz reflejado,  $I_r$ , y del haz incidente,  $I_0$ , representa la reflectancia del medio reflector con relación al incidente para unas condiciones dadas de iluminación. En lo sucesivo, cuando utilizemos el término reflectancia nos estaremos refiriendo al caso particular de incidencia perpendicular de luz monocromática.

Para incidencia perpendicular, las propiedades ópticas de una superficie reflectora de un mineral transparente y anisótropo, vienen caracterizadas por las de la sección del correspondiente elipsoide de los índices que presenta la misma orientación, con relación a los ejes de simetría del mineral, que la superficie reflectora en cuestión.

En consecuencia, a la vibración luminosa incidente corresponderán dos ondas reflejadas,

cuyos vectores luz vibran en las direcciones de los semiejes de la sección correspondiente del elipsoide, a los que van asimismo asociados dos índices de refracción distintos y mutuamente perpendiculares. Los denominaremos índices de refracción principales:  $n_1$ , asociado a la dirección según la cual vibra la onda reflejada de la superficie reflectora a la que le corresponde la menor velocidad de propagación, y  $n_2$ , asociada a la dirección a la que le corresponde la mayor velocidad de propagación, cumpliéndose  $n_1 > n_2$ .

Cuando la vibración luminosa incidente está linealmente polarizada con su dirección de vibración paralela a una de las dos direcciones de vibración de la superficie reflectora, entonces la reflectancia de la misma toma un valor extremo (máximo o mínimo), mientras que si se dispone paralela a la otra dirección, presentará el otro valor extremo (mínimo o máximo). Dispuesta la sección sobre la platina del microscopio, con un giro completo de la misma, manteniendo fijo el polarizador, la reflectancia cambia cuatro veces entre dos valores máximos y dos valores mínimos.

Cuando la superficie reflectora es aquella pa-

ralela al eje óptico de un mineral transparente uniaxial negativo, caso que nos ocupa, tenemos la posibilidad de medir sus dos reflectancias principales, a las que en este tipo de secciones se denominan reflectancia ordinaria,  $R_{\omega}$  y reflectancia extraordinaria,  $R_{\epsilon}$ , siendo  $R_{\omega} > R_{\epsilon}$

$$R_{\omega} = (n_{\omega} - 1)^2 / (n_{\omega} + 1)^2 \quad (1)$$

$$R_{\epsilon} = (n_{\epsilon} - 1)^2 / (n_{\epsilon} + 1)^2 \quad (2)$$

En el caso de la sección perpendicular al eje óptico basta con medir una reflectancia,  $R_{\omega}$ , puesto que esta sección se comporta como cualquier otra de un mineral isotrópico.

Los índices de refracción de la sección y por lo tanto del mineral, se obtienen por derivación de las fórmulas (1) y (2), siendo:

$$n_{\omega} = (1 + \sqrt{R_{\omega}}) / (1 - \sqrt{R_{\omega}}) \quad (3)$$

$$n_{\epsilon} = (1 + \sqrt{R_{\epsilon}}) / (1 - \sqrt{R_{\epsilon}}) \quad (4)$$

## TRABAJO EXPERIMENTAL

### A) Identificación de los ejemplares estudiados

Se han estudiado tres ejemplares de la serie de las turmalinas que, en principio, por su color los denominamos:

MUESTRA 1 - Chorlo

MUESTRA 2 - Dravita

MUESTRA 3 - Elbaita

Los tres minerales cristalizan en el sistema romboédrico, grupo espacial R3m. Se presentan en cristales de hábito prismático, estriados según la dirección cristalográfica *c*. Son translúcidos, presentando pleocroísmo. Ópticamente son uniaxiales negativos. Son frecuentes las diversas coloraciones zonales o longitudinales en un mismo cristal. El chorlo, rico en Fe, es de color negro, mientras que dravita y elbaita presentan un color pardo y verde, respectivamente.

Los ejemplares se han identificado mediante difracción de rayos-X, método de polvo cristalino, con un difractómetro PHILIPS utilizando tubo de cobre y filtro de níquel. Los diagramas obtenidos para las muestras 2 y 3 coinciden con los patrones de las fichas A.S.T.M. 14-76 y 26-964, correspondientes a dravita y elbaita. El diagrama de polvo obtenido de la muestra 1 no se corresponde bien con ninguna de las fichas A.S.T.M. pertenecientes a los miembros de la serie.

Dado que la correspondencia entre las muestras en estudio y la denominación utilizada no está lo suficientemente clara, se han calculado los parámetros de red en los tres ejemplares, cuyos valores pueden observarse en la Tabla I. A continuación se han representado los parámetros *c* y *a* frente a la relación paramétrica *c/a*, según los diagramas de Deer (1962), Figs. 1 y 2. Del examen de estas figuras se deduce

TABLA I.—Parámetros de red y relación paramétrica.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
<i>a</i>	16,01	15,97	15,90
<i>c</i>	7,16	7,20	7,11
<i>a/c</i>	0,447	0,451	0,447

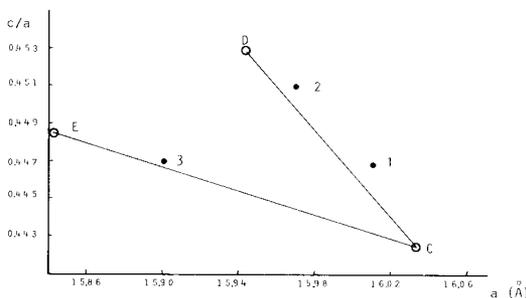


Fig. 1.—Representación gráfica del parámetro *a* frente a la relación paramétrica *c/a* según Deer (1962).

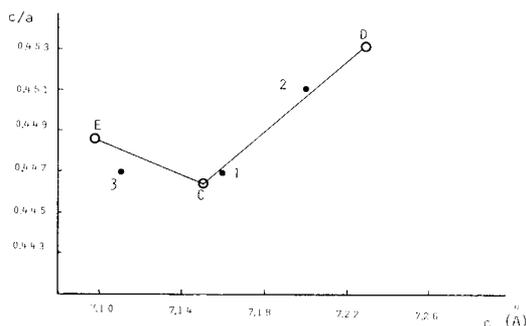


Fig. 2.—Representación gráfica del parámetro *c* frente a la relación paramétrica *c/a* según Deer (1962).

que la muestra 3 se encuentra perfectamente situada en la línea E-C que define la serie isomorfa elbaita-chorlo y, por estar mucho más próxima al miembro extremo elbaita, punto E de la figura, queda perfectamente identificada como elbaita. Las muestras 1 y 2 se encuentran sobre la línea C-D que define la serie isomorfa chorlo-dravita: la muestra 1 por estar muy próxima al chorlo, punto C del diagrama, la denominamos chorlo, y la muestra 2, por el mismo razonamiento, queda identificada como dravita.

La composición química se ha determinado mediante la microsonda electrónica. El porcentaje en óxidos de los elementos determinados se expone en la Tabla II, de cuyo examen se deduce que concuerda, en los tres ejemplares, con los datos proporcionados en la bibliografía (Deer 1962).

TABLA II.—Composición química.

Oxidos %	Chorlo	Dravita	Elbaita
SiO <sub>2</sub>	36,94	38,56	33,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,71	31,73	34,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,82	0,60	8,67
MnO	0,19	—	0,25
CaO	0,06	0,57	0,08
Na <sub>2</sub> O	1,88	2,57	2,72
MgO	0,97	11,38	—
TiO <sub>2</sub>	0,16	1,26	—
Total	88,73	86,67	79,85

## B) Obtención de las secciones pulidas

En la elaboración de las secciones pulidas, en las que se efectuaron las medidas de reflectancia, fue necesaria una operación previa: el corte con sierra de los ejemplares según planos paralelos a las direcciones del eje óptico, por un lado, y según planos perpendiculares a dicho eje, por otro lado.

A continuación se procedió al montaje de cada una de las muestras en resina. Con el objeto de evitar cualquier efecto secundario que pudiera sufrir el mineral se ha empleado una de las resinas que polimerizan a temperatura ambiente; en este caso la resina utilizada es ESTRATIL 2195; se trata de una resina líquida de poliéster que lleva incorporado el acelerante, de reactividad media y baja viscosidad, utilizando como catalizador peróxido de metil-etil cetona en proporciones de 0,24-0,4 partes por 100 de resina. El tiempo de gel será del orden de 40 minutos aunque es conveniente dejarlo durante algún tiempo más para asegurar la catálisis.

Después de su endurecimiento se procedió a las operaciones de pulido que se realizaron según las etapas siguientes:

a) Desbaste automático con pulidora KENT MK2A, sobre cubierta de papel espolvoreada con carborundum de granulometría 1000 y agua como lubricante.

b) Pulido con máquina automática STRUERS DPT, sobre discos PUC y cubierta de tela SINTETIC, empleando pasta de diamante de granulometrías 6, 3, 1, 1/4 de  $\mu$ , sucesivamente y lubricante de la casa STRUERS.

Después de cada etapa y antes de pasar a la siguiente se sometieron las muestras a una operación de limpieza, con el fin de evitar posibles contaminaciones que pudieran provocar rayas en las mismas, utilizando, para ello, un aparato de ultrasonidos.

Siendo condición necesaria en la toma de medidas de reflectancia la horizontalidad de la sección pulida con respecto al eje óptico del microscopio, se colocaron las muestras sobre un porta de vidrio con plastilina, presionando ligeramente con una prensa de mano.

Para comprobar la ortogonalidad anteriormente citada, se usó el test conoscópico de nivelación (Piller 1981) consistente en observar la imagen del diafragma de apertura del iluminador, formada en el plano focal posterior del objetivo, que permanecerá estacionario al girar la platina cuando la superficie del área a fotometrar está perfectamente nivelada. Las mejores condiciones para realizar este test se consiguen insertando las lentes de Bertrand, utilizando un stop pequeño para el diafragma de apertura del iluminador y un objetivo de bajos aumentos.

## C) Aparato y método de medida

La toma de medidas de reflectancia en ambas secciones, perpendicular y paralela al eje óptico, en los tres minerales se ha llevado a cabo mediante el empleo de un equipo fotométrico VICKERS EEL, acoplado a un microscopio VICKERS M74, cuya descripción ha sido realizada por diversos autores (Hallimond 1970, Bowie *et al.* 1977). El método seguido, método de rayo simple, es de medidas comparativas en el cual se compara la intensidad luminosa reflejada por la muestra en estudio con la de la muestra patrón, medida bajo las mismas condiciones, con el fotómetro, obteniendo la reflectancia de la muestra problema aplicando la fórmula:

$$R_{sp} = R_{st} G_{sp} / G_{st} \quad (5)$$

donde R es la reflectancia en % y G la lectura galvanométrica. Los subíndices sp y st se refieren a la muestra problema y la muestra patrón, respectivamente.

Todas las lecturas se han efectuado utilizando, como muestra patrón, el vidrio negro NG1, con una reflectancia media del 4 %, suministrado por la casa ZEISS.

Después de comprobar el rango de reflectancia de los ejemplares con los patrones: CSI, SIKA y vidrio negro NG1, se optó por utilizar el último puesto que su reflectancia es más próxima a la de los ejemplares

TABLA III.—Valores de reflectancia en la sección perpendicular al eje óptico.

	Chorlo	Dravita	Elbaita
460	4,71	9,08	5,34
480	4,61	9,02	5,38
500	4,79	8,96	5,39
520	5,28	7,42	5,47
540	5,54	7,96	5,81
560	5,49	6,60	5,32
580	5,37	7,30	5,62
600	5,22	7,55	5,17
620	5,22	7,85	5,28
640	4,91	8,16	5,68
660	5,31	8,70	5,48
680	5,08	8,68	4,83
700	4,99	8,66	4,33



En las Tablas IV, V y VI pueden observarse los valores de reflectancia obtenidos en las zonas A, B y C en cada una de las secciones paralelas de los minerales estudiados.

Con el fin de obtener las reflectancias máxima,  $R_{\text{máx}}$ , y mínima,  $R_{\text{mín}}$ , de los tres minerales se ha procedido de la siguiente manera: a partir de los ocho valores de la reflectancia se

calculan los coeficientes y ángulos de fase del desarrollo de Fourier con un programa (Marcos *et al.* in litt.) escrito en lenguaje Fortran 77:

$$R(\alpha) = CO + C1 \sin(\alpha + \Psi_1) + C2 \sin(2\alpha + \Psi_2) + C3 \sin(3\alpha + \Psi_3) \quad (6)$$

Los coeficientes CO y C2 nos proporcionan los valores máximo ( $R_{\text{máx}} = CO + C2$ ) y mínimo

TABLA V.-Valores de reflectancia en la sección paralela al eje óptico.

DRAVITA A								
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
460	5,19	5,19	5,19	5,06	5,19	5,19	4,93	4,41
480	5,19	5,26	5,34	5,26	5,26	5,34	5,26	5,19
500	5,69	6,22	5,80	5,80	5,90	5,64	5,48	5,43
520	5,14	5,58	5,66	5,50	5,66	5,66	5,18	5,06
540	4,77	4,99	4,95	4,84	4,77	4,95	4,95	4,67
560	4,89	5,15	5,05	5,02	5,02	4,99	4,89	4,86
580	4,94	5,04	4,88	4,66	4,94	5,04	4,79	4,41
600	4,71	5,18	5,18	5,04	5,41	5,48	5,08	4,84
620	5,19	5,47	5,51	5,47	5,59	5,63	5,35	4,91
640	5,22	5,32	5,32	5,27	5,22	5,17	5,22	5,07
660	5,29	5,69	6,02	5,76	6,02	6,09	6,02	5,69
680	5,59	5,79	5,40	5,50	5,69	5,79	5,59	4,82
700	5,19	5,19	5,19	5,19	5,19	5,19	5,19	5,19

DRAVITA B								
460	13,62	13,62	12,26	12,26	13,62	12,26	12,25	12,26
480	11,28	11,28	11,28	11,28	11,28	11,50	11,28	11,28
500	11,80	11,35	11,80	10,90	11,80	11,80	11,95	10,90
520	9,89	9,89	9,79	9,89	9,89	9,39	8,90	9,39
540	9,90	10,52	9,72	9,19	9,72	9,72	9,46	9,02
560	8,07	8,07	8,07	7,92	7,99	8,07	8,51	8,14
580	8,25	8,76	8,40	8,03	8,98	8,83	8,76	8,68
600	9,30	9,53	9,06	8,66	8,74	8,98	8,90	8,74
620	9,24	9,16	8,89	8,55	8,81	9,24	8,55	8,63
640	8,70	8,27	8,59	8,59	8,92	8,70	8,37	8,05
660	8,70	8,56	8,56	8,70	8,70	8,70	8,85	8,56
680	8,68	8,68	8,68	8,25	8,46	8,68	8,03	7,38
700	8,66	8,23	8,66	7,79	8,66	8,66	8,23	7,79

DRAVITA C								
460	12,71	12,71	13,17	12,26	12,72	13,17	11,35	12,26
480	9,25	10,37	10,15	9,47	10,60	10,37	9,02	9,25
500	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,45	10,15	9,11
520	7,91	7,81	7,32	7,91	8,21	8,11	7,91	7,91
540	8,04	8,57	8,40	7,96	8,31	7,96	7,80	7,96
560	6,97	7,11	7,26	6,67	7,11	7,04	6,75	6,67
580	7,30	7,15	7,30	7,23	7,30	7,37	7,08	6,79
600	7,95	7,95	7,87	7,39	7,95	8,10	7,87	7,47
620	7,67	7,85	7,76	7,59	7,50	7,67	7,32	7,06
640	7,61	8,70	8,16	8,16	7,83	8,16	7,72	7,72
660	7,40	8,12	7,98	7,83	8,56	8,70	7,98	7,40
680	8,68	8,68	8,68	8,68	8,68	8,68	8,46	8,25
700	9,37	8,23	9,37	7,79	9,37	9,37	8,23	7,79

TABLA VI.—Valores de reflectancia en la sección paralela al eje óptico.

ELBAITA A								
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
460	10,59	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09
480	7,78	7,78	7,89	7,55	7,44	6,99	7,55	6,99
500	7,24	6,72	7,17	6,72	6,94	6,72	6,72	6,72
520	6,17	6,51	6,68	6,17	6,17	6,12	6,29	6,06
540	6,34	6,38	6,43	6,34	5,89	5,94	5,70	5,60
560	5,97	6,07	6,16	6,02	6,02	5,93	5,93	6,21
580	5,82	5,73	5,87	5,87	5,87	5,82	6,14	6,05
600	5,88	5,92	6,17	6,07	5,83	5,83	5,78	5,39
620	5,61	5,83	5,89	5,89	5,83	5,94	6,00	6,00
640	6,53	6,60	6,81	7,10	7,03	7,25	7,10	7,10
660	6,77	7,64	7,73	7,73	6,96	6,77	6,77	7,06
680	7,09	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23
700	12,99	12,99	12,99	12,99	10,83	10,83	12,99	10,83

ELBAITA B								
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
460	4,54	4,54	4,31	4,09	3,41	3,63	4,09	3,41
480	4,17	4,28	4,51	4,51	4,40	4,40	4,51	4,40
500	4,76	4,41	4,82	4,20	4,07	4,14	4,14	4,34
520	4,10	3,96	4,45	4,05	3,96	3,96	4,40	4,45
540	4,89	4,65	5,12	5,12	4,65	4,51	4,79	5,07
560	5,15	4,80	5,02	4,84	4,80	4,80	5,02	4,71
580	4,56	4,60	4,99	5,26	4,95	4,86	4,91	5,34
600	5,15	5,34	5,34	5,05	5,10	5,15	5,39	5,29
620	5,44	5,64	6,05	5,54	5,13	5,18	5,33	5,49
640	5,49	5,35	5,55	5,42	5,29	5,22	5,35	5,35
660	5,13	4,52	4,69	4,35	4,35	4,35	4,44	4,44
680	4,34	5,06	5,06	4,34	4,34	4,34	4,34	4,34
700	4,33	4,33	4,33	4,33	5,20	4,04	4,33	4,33

ELBAITA C								
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
460	7,26	7,26	7,26	7,26	6,54	5,45	6,36	6,72
480	6,92	7,02	7,02	6,71	6,82	6,61	6,02	6,92
500	6,51	6,15	6,09	6,27	6,03	6,33	6,69	6,69
520	6,42	6,09	5,90	6,04	5,53	5,76	6,46	7,17
540	6,83	6,51	6,35	6,19	6,11	6,23	6,55	6,91
560	6,27	6,27	6,16	6,09	6,20	6,01	6,64	6,42
580	6,50	6,13	6,28	5,95	5,73	6,42	7,01	6,97
600	6,38	6,19	6,31	6,27	6,19	6,46	6,19	6,31
620	6,06	6,19	6,37	6,23	5,75	5,97	6,10	6,10
640	5,22	5,32	5,89	5,68	5,63	5,68	6,94	6,04
660	6,02	5,80	5,44	5,73	5,80	5,80	5,87	5,95
680	6,57	6,32	6,20	6,08	6,08	6,20	6,45	6,94
700	4,98	4,55	4,55	4,33	4,33	4,33	5,41	4,76

( $R_{\min} = CO-C2$ ) de la reflectancia en la sección y que en este caso podemos considerarlos como las reflectancias ordinaria y extraordinaria del mineral, presentadas en la Tabla VII. El coeficiente C1 nos indica la desviación existente entre la superficie pulida y el haz de luz incidente. El coeficiente C2 es un indicador de la aniso-

tropía y el coeficiente C3 da una idea de otros posibles factores (ruidos de fotomultiplicador, etc.) que pueden influir en esta propiedad.

En la Tabla VIII se exponen los índices de refracción obtenidos a partir de la fórmula (3) para la sección perpendicular al eje óptico.

Los valores de los índices de refracción  $n_{\omega}$  y

TABLA VII.—Reflectancias principales obtenidas mediante Fourier.

CHORLO						
A		B		C		
R $\omega$	R $\epsilon$	R $\omega$	R $\epsilon$	R $\omega$	R $\epsilon$	
460	9,08	9,08	10,56	8,96	11,54	10,23
480	4,40	4,13	10,17	9,73	7,27	6,92
500	4,55	4,25	8,73	8,04	6,46	6,03
520	5,21	5,00	9,57	8,61	7,39	6,41
540	6,49	6,32	9,10	8,84	6,65	5,75
560	6,25	5,99	8,25	7,99	6,50	5,88
580	6,15	5,70	6,38	6,22	6,10	5,76
600	5,90	5,59	6,86	5,41	6,05	5,82
620	6,24	5,63	7,13	6,70	6,46	5,77
640	6,63	6,10	7,42	6,81	6,26	5,81
660	6,17	5,72	7,15	5,94	6,69	5,99
680	6,41	4,99	6,44	5,65	8,76	8,44
700	8,66	8,66	7,52	6,55	8,99	8,55
DRAVITA						
R $\omega$	R $\epsilon$	R $\omega$	R $\epsilon$	R $\omega$	R $\epsilon$	
460	5,28	4,81	13,53	12,01	13,30	11,78
480	5,32	5,21	11,36	11,25	10,34	9,28
500	5,92	5,57	11,88	11,20	10,59	9,90
520	5,60	5,26	9,90	9,36	8,11	7,66
540	5,00	4,72	10,18	9,14	8,28	7,97
560	5,05	4,92	8,24	7,97	7,15	6,74
580	5,10	4,58	8,81	8,37	7,33	7,05
600	5,31	4,92	8,27	8,71	8,12	7,52
620	5,57	5,21	9,22	8,54	7,77	7,33
640	5,27	5,18	8,71	8,34	8,28	7,74
660	6,02	5,62	8,67	8,66	8,39	7,60
680	5,84	5,20	8,80	7,91	8,72	8,48
700	5,19	5,19	8,68	7,99	9,27	8,11
ELBAITA						
R $\omega$	R $\epsilon$	R $\omega$	R $\epsilon$	R $\omega$	R $\epsilon$	
460	10,28	10,03	4,20	3,80	7,08	6,44
480	7,58	7,42	4,52	4,27	6,95	6,81
500	6,94	6,80	4,39	4,33	6,48	6,21
520	6,46	6,08	4,41	3,92	6,53	5,82
540	6,18	5,98	5,12	4,58	6,55	6,37
560	6,10	5,98	4,92	4,87	6,36	6,16
580	6,02	5,77	5,23	4,63	6,65	6,09
600	5,95	5,76	5,35	5,10	6,31	6,26
620	5,99	5,76	5,68	5,27	6,27	5,93
640	7,06	6,82	5,44	5,32	5,98	5,37
660	7,39	6,96	4,62	4,44	5,93	5,67
680	7,25	7,18	4,77	4,27	6,48	6,23
700	12,72	11,64	4,63	4,17	4,83	4,48

ne obtenidos a partir de las fórmulas (3) y (4) en la sección paralela se muestran en la Tabla IX.

#### CONCLUSIONES

Las muestras 1, 2 y 3 se han identificado

como chorlo, dravita y elbaita, respectivamente, a partir de las Figs. 1 y 2, confirmándose la denominación de cada muestra con los distintos miembros de la serie mediante la composición química.

Del examen de la Tabla II se deduce que en

TABLA VIII.—Índices de refracción correspondientes a la sección perpendicular al eje óptico.

	Chorlo	Dravita	Elbaita
460	1,55	1,99	1,60
480	1,54	1,99	1,60
500	1,56	1,85	1,60
520	1,59	1,75	1,61
540	1,61	1,79	1,64
560	1,61	1,70	1,60
580	1,60	1,75	1,62
600	1,59	1,76	1,59
620	1,59	1,78	1,60
640	1,56	1,80	1,63
660	1,59	1,84	1,61
680	1,59	1,84	1,56
700	1,57	1,83	1,52

los minerales estudiados las reflectancias guardan el siguiente orden:

$$\text{dravita} > \text{elbaita} > \text{chorlo}$$

esta sucesión parece mantener estrecha relación con el contenido en hierro, a mayor contenido en Fe menor valor de la reflectancia.

En las secciones paralelas al eje c, Tablas III, IV y V, se mantiene el orden de reflectancias anteriormente expuesto, aunque las diferencias entre chorlo y elbaita son poco acusadas, al igual que ocurre en la sección perpendicular.

Los índices de refracción varían en el mismo sentido que las reflectancias, en ambas secciones. Los valores obtenidos para la longitud de onda de 540 nm oscilan entre 1,60 y 1,79 en la sección perpendicular y entre 1,54 y 1,94 en la sección paralela, datos concordantes con los datos de la bibliografía.

Las medidas de reflectancia espectral sobre las dos secciones de los ejemplares investigados, revelan por una parte que los valores de las reflectancias para el rayo ordinario varían con

la orientación cristalográfica de la sección pulida, y por otra parte que existe una variación de la reflectancia en la misma sección.

Distintos autores han intentado dar una explicación a la variación de  $R_{\omega}$  con la dirección cristalográfica, emitiendo dos hipótesis: una mecánica y otra óptica. Según la hipótesis mecánica esta variación podría ser debida a un cambio en el estado de la superficie producido por el pulido mecánico sobre secciones de distinta orientación, hecho que ha sido demostrado en algún mineral (Leow 1966, Cervelle *et al.* 1970) pero no en otros (Cervelle *et al.* 1976).

La hipótesis óptica pretende aducir la variación de  $R_{\omega}$  con la dirección cristalográfica al poder rotatorio (Nomura 1960); sin embargo, los estudios realizados por Cervelle y Levy (1976) sobre el telurio y por Hall *et al.* (1980) en otros minerales opacos no demuestran de forma clara esta hipótesis.

En el caso de los ejemplares estudiados, en principio se pueden desechar ambas hipótesis; en primer lugar no existe evidencia de exfoliación producida por el pulido y en segundo lugar la clase cristalina a la que pertenecen no presenta actividad óptica. Sin embargo, estos minerales presentan variaciones en composición y generalmente aparecen zonados (Deer 1962), hecho, este último, que se manifiesta en observaciones con el microscopio polarizante de reflexión, lo que nos induce a pensar que ésta sea la causa de la variación de la reflectancia en distintas zonas de la sección paralela de los ejemplares estudiados, así como la variación de  $R_{\omega}$  en las secciones perpendiculares y paralela al eje óptico. En definitiva, para poder llegar a conclusiones que garanticen esta hipótesis, es necesario tomar las medidas de reflectancia y realizar los análisis químicos en la misma zona, trabajo que actualmente está en vías de desarrollo.

TABLA IX.—Índices de refracción correspondientes a la sección paralela al eje óptico.

CHORLO						
	A		B		C	
	$n_{\omega}$	$n_{\epsilon}$	$n_{\omega}$	$n_{\epsilon}$	$n_{\omega}$	$n_{\epsilon}$
460	1,86	1,86	1,96	1,85	2,03	1,94
480	1,54	1,52	1,94	1,91	1,74	1,71
500	1,59	1,58	1,84	1,79	1,68	1,65
520	1,68	1,67	1,90	1,83	1,75	1,68
540	1,67	1,65	1,86	1,85	1,69	1,63
560	1,66	1,63	1,81	1,79	1,68	1,64
580	1,64	1,62	1,68	1,66	1,66	1,63
600	1,67	1,62	1,71	1,68	1,65	1,64
620	1,69	1,66	1,73	1,70	1,68	1,63
640	1,66	1,63	1,75	1,71	1,67	1,63
660	1,68	1,58	1,73	1,64	1,70	1,65
680	1,67	1,57	1,68	1,62	1,84	1,82
700	1,83	1,83	1,76	1,69	1,86	1,83
DRAVITA						
460	1,60	1,56	2,16	2,06	2,10	2,05
480	1,60	1,59	2,02	2,01	1,95	1,88
500	1,64	1,62	2,05	2,01	1,96	1,92
520	1,62	1,59	1,92	1,88	1,80	1,77
540	1,58	1,56	1,94	1,87	1,81	1,79
560	1,58	1,57	1,81	1,79	1,73	1,70
580	1,58	1,54	1,84	1,81	1,74	1,72
600	1,60	1,57	1,88	1,84	1,80	1,76
620	1,62	1,59	1,87	1,83	1,77	1,74
640	1,60	1,59	1,84	1,81	1,81	1,77
660	1,65	1,62	1,83	1,83	1,83	1,76
680	1,64	1,59	1,84	1,78	1,84	1,82
700	1,59	1,59	1,84	1,79	1,88	1,80
ELBAITA						
460	1,94	1,93	1,52	1,48	1,73	1,68
480	1,76	1,75	1,54	1,52	1,72	1,71
500	1,72	1,71	1,53	1,52	1,68	1,66
520	1,68	1,65	1,53	1,49	1,69	1,64
540	1,66	1,65	1,59	1,54	1,69	1,68
560	1,66	1,65	1,57	1,57	1,67	1,66
580	1,65	1,63	1,59	1,55	1,70	1,66
600	1,65	1,63	1,60	1,58	1,67	1,67
620	1,65	1,63	1,63	1,60	1,67	1,64
640	1,72	1,71	1,61	1,60	1,65	1,60
660	1,75	1,72	1,55	1,53	1,64	1,63
680	1,74	1,73	1,56	1,52	1,68	1,67
700	2,11	2,04	1,55	1,51	1,56	1,54

## BIBLIOGRAFIA

- Bowie, S. H. U. y Simpson, P. R. (1977).—Microscopy. Reflected light. In: J. Zussman (Ed.) *Physical Methods in determinative Mineralogie*. Academic Press, 109-166.
- Cervelle, B. D., Caye, R. y Billard, J. (1970).—Détermination de l'ellipsoïde complexe des indices de cristaux iniaxes fortement absorbants. Application à la pyrrhotite hexagonale. *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr.*, 93, 72-82.
- , Lévy, C. (1976).—Sur les propriétés optiques de tellure dans le spectre visible. *Ibid.*, 99, 220-224.
- Deer, W. A., Howie, R. A. y Zussman, J. (1962).—*Rock Forming Minerals*. Longmans, 1, 300-319.
- Hall, A. J., Cervelle, B. D. y Simpson, P. R. (1980).—An optical anomaly possibly due to optical activity in some uniaxial opaque ore minerals. *Mineralogical Magazine*, 43, 909-912.
- Hallimond, A. F. (1970).—*The polarizing microscope*. (3.<sup>a</sup> ed.). Vickers Instrumentes, 142-158.
- Leow, J. H. (1966).—Reflectivity measurements of molybdenite. *Economic Geology*, 61, 598-612.
- Marcos, C., Blanco, M. y Virgós, J. M. (in litt.).—Aplicación del método de interpolación trigonométrica de Fourier en el estudio de la anisotropía de la reflectividad y microdureza en minerales. *Acta Geológica Hispánica*, 19.
- Nomura, K. C. (1960).—Optical activity in tellurium. *Phys. Rev. Letters*, 5, 500-501.
- Piller, H. (1981).—The calibration of standards for the measurements of specular reflectance with a microscope photometer. *Journal of Microscopy*, 123, 259-270.