

## Determinación y cálculo de las constantes ópticas en un cristal opaco biáxico: enargita, $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$

por A. LÓPEZ-SOLER y J. M. BOSCH-FIGUEROA \*

### RESUMEN

A partir de los valores de reflectancia para longitudes de onda comprendidas entre 440 nm y 660 nm obtenidos por el método microfotométrico con incidencia normal, empleando dos medios de índice de refracción conocidos, se han calculado el índice de refracción y el coeficiente de absorción en las tres direcciones principales de vibración de la enargita. Las mediciones se han efectuado en las secciones orientadas (001) y (110) de la enargita. El mineral se ha identificado mediante la difracción de rayos X.

### SUMMARY

From the value of reflectance for waveleights between 440 nm and 660 nm obtained by microphotometric method with normal incidence, using two medium of well known refractive indexes, refractive index and coefficient of absorption has been calculated in the three principal directions of vibration of enargite. Measurements have been taken of oriented sections (001) and (110) of enargite. By X ray diffraction the mineral has been identified.

### INTRODUCCIÓN

El mineral enargita,  $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ , es opaco en sección delgada; por consiguiente, los únicos datos ópticos que pueden obtenerse son la medida de las reflectancias de las direcciones principales y su curva de dispersión. La enargita cristaliza en el sistema rómbico, por lo que las reflectancias principales corresponden a las vibraciones lineales paralelas a los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , o sea (100), (010) y (001) respectivamente. Si las reflectancias se miden en aire y en aceite, pueden obtenerse las constantes ópticas  $n$  índice de refracción y  $k$  coeficiente de absorción mediante la resolución de un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas que ha sido desarrollado por BEREK (1) y PILLER (2).

La enargita ha sido estudiada ópticamente por

\* Sección de Cristalografía del Instituto "Jaime Almera", C.S.I.C., Esgipcias, 15, Barcelona.

CAPDECOMME (3), en secciones orientadas, y midiendo el signo de las reflectancias mediante la observación de los colores de interferencia entre nicóles cruzados. LÉVY (4) ha efectuado también mediciones de cristales de enargita en secciones sin orientar. CERVELLES (5) ha medido las vibraciones principales en secciones orientadas correspondientes a los ejes  $x$ ,  $y$ .

### CONDICIONES EXPERIMENTALES

Se han estudiado cristales de enargita procedentes de Utah (EE. UU.), que presentan hábito prismático, con (110) dominante (fig. 1). Para efectuar mediciones de las reflectancias correspondientes a las vibraciones principales se han preparado secciones paralelas a (001) y (110). En la sección (001) las dos vibraciones principales son paralelas respectivamente a los ejes  $x$ ,  $y$ . En la sección (110) la vibración principal es paralela al eje  $z$ . La otra vibración obtenida en esta sección no se ha tenido en cuenta ya que se trata de un valor intermedio.

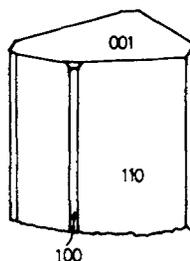


Fig. 1. — Cristal de enargita,  $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$  utilizado en la obtención de secciones orientadas pulidas.

Las secciones se han obtenido mediante el uso de una sierra con cabezal goniométrico y con el borde del disco cortador impregnado con polvo de diamante (6).

Las secciones orientadas fueron colocadas en recipientes de plástico especialmente diseñados con este fin e incluidas en resina plástica Ceemar.

El pulido fue efectuado con polvo de carborundum sobre disco de fundición y las etapas finales se lograron sobre discos de plomo usando como abrasivos, fast-cutting, slow-cutting y gamma polishing alumina respectivamente (6).

Las mediciones se han efectuado con el microscopio fotométrico M.P.M. Carl Zeiss, Oberkochen (R.F.A.) (7) con las condiciones ópticas siguientes: objetivos Epiplan 8/0,2 Pol D = 0 y Epiplan 8/0,2 Pol, oil D = 0, ocular 10 X; diámetro del diafragma de apertura 2 mm. Diámetro del campo medido 16 microns.

Para conseguir una perfecta perpendicularidad durante las mediciones se ha utilizado el accesorio denominado Lanham Stage que permite además el rápido intercambio del problema y el standard en cada longitud de onda.

Como standard se ha utilizado una superficie de carburo de silicio, "Sika", calibrado por el National Physical Laboratory de Londres y reseñado con el número 2538,28; superficie que es la standard oficial para España.

El área a medir fue seleccionada mediante la utilización del método de interferencia de Nomarsky. Las mediciones se han efectuado con luz monocromática empleando un filtro degradado de interferencia modelo Veril S.200 marca Schott y Gen, en montura metálica en la que están grabadas las longitudes de onda a intervalos de 10 nm.

En cada longitud de onda se han efectuado 10 lecturas de cada una de las dos direcciones de vibración en las tres secciones. Se tomó la media para cada grupo de 10 mediciones, con las que se trazó la curva de dispersión. La desviación standard fue tomada como  $\pm 1\%$  relativo. Cuando un grupo de 10 lecturas contenía más de dos, fuera de este límite fijado, la serie se volvió a medir hasta lograr la condición prevista. La media de todas estas lecturas fue la tomada como verdadero valor de la reflectancia y el utilizado para el cálculo de  $n$  y  $k$  (8).

Los ejemplares de enargita fueron identificados mediante difracción de rayos X y el diagrama obtenido corresponde exactamente con la ficha standard del A.S.T.M. Powder Diffraction File.

#### DATOS EXPERIMENTALES

La fig. 2 muestra las curvas de dispersión de las reflectancias principales en aire. Se observa que la vibración de más poder reflectante es la correspondiente al eje  $z$  y presenta una forma casi plana. Las otras dos curvas que corresponden a los ejes  $x$ ,  $y$ , tienen una dispersión aproximadamente del 3% de la escala total, y se cruzan a 500 nm. La curva correspondiente al eje  $y$  aumenta hasta alcanzar los valores de  $z$  a 660 nm. Por consiguiente, la vibración parale-

la a  $z$  corresponde al valor máximo ( $g$ ) en todas las longitudes de onda. La vibración paralela a  $y$ , desde 440 nm a 500 nm corresponde con el valor mínimo ( $p$ ) y desde 500 nm a 660 nm es el valor medio ( $m$ ). La vibración paralela al eje  $x$  desde 440 nm a 500 nm el valor medio ( $m$ ) y desde 500 nm a 660 nm es el valor mínimo ( $p$ ). El punto de cruce a 660 nm ya había sido detectado por CAPDECOMME (3).

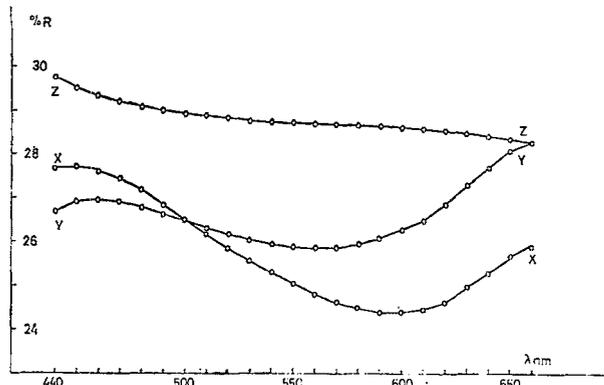


Fig. 2. — Curvas de dispersión de las reflectancias en aire de las direcciones principales de vibración de la enargita.

La fig. 3 muestra las curvas de dispersión de las reflectancias en aceite y se observa que presentan una forma muy similar a las obtenidas en aire, lo que indica que no existe ningún efecto especial en las curvas de dispersión de las dos constantes ópticas principales.

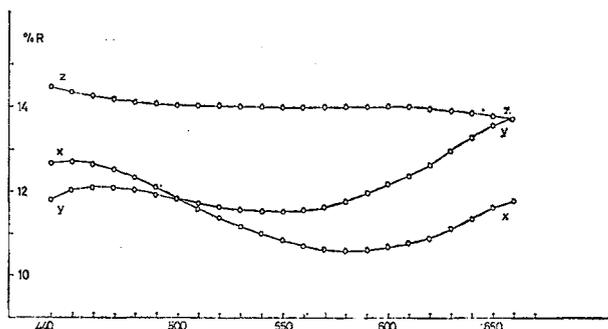


Fig. 3. — Curvas de dispersión de las reflectancias según las direcciones principales de vibración de la enargita, en aceite de inmersión "Cargille type A" a 22 °C.

Los valores del índice de refracción y coeficiente de absorción se han calculado a partir de los valores de reflectancia.

La fig. 4 muestra las curvas de dispersión de  $n$ ,  $k$ . En ellos aparecen los mismos puntos de cruce observados en las reflectancias, y además en las curvas de  $k$ , existe un punto de cruce a 660 nm; punto en el

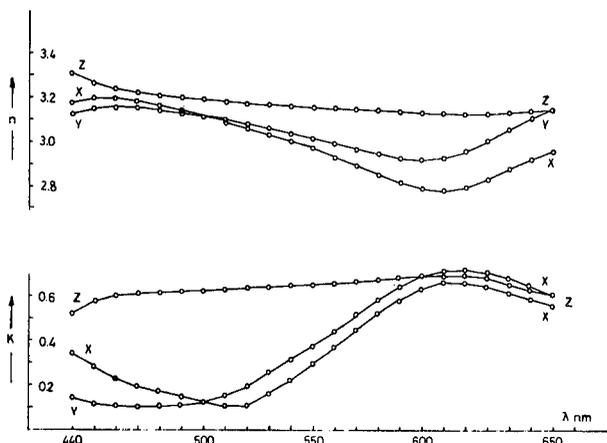


Fig. 4. — Curvas de dispersión de los índices de refracción y coeficientes de absorción de las direcciones principales de vibración de la enargita.

cual la curva correspondiente al eje,  $y$  supera a la correspondiente al eje  $z$ .

Los datos experimentales figuran en las tablas I y II.

A partir de las reflectancias en aire y aceite de la enargita se han calculado las birreflectancias ( $Rg - Rm$ ) y  $(Rm - Rp)$  en cada longitud de onda. El signo de la birreflectancia viene dado de acuerdo con la siguiente relación (13); es positivo si  $(Rg - Rm) > (Rm - Rp)$  y negativo cuando  $(Rg - Rm) < (Rm - Rp)$ . Siguiendo el mismo criterio se han calcu-

TABLA I

$\lambda$	Vibración según [100]		Vibración según [010]		Vibración según [001]		N Cargill aceite
	% $R_{aire}$	% $R_{aceite}$	% $R_{aire}$	% $R_{aceite}$	% $R_{aire}$	% $R_{aceite}$	
440	27,67	12,67	26,66	11,80	29,75	14,46	1,5326
450	27,69	12,70	26,90	12,02	29,50	14,32	1,5308
460	27,60	12,64	26,95	12,09	29,36	14,25	1,5294
470	27,42	12,52	26,91	12,08	29,22	14,17	1,5279
480	27,17	12,33	26,80	12,02	29,10	14,10	1,5268
490	26,83	12,08	26,62	11,91	29,01	14,06	1,5253
500	26,52	11,85	26,47	11,81	28,94	14,03	1,5242
510	26,17	11,59	26,30	11,67	28,88	14,00	1,5232
520	25,86	11,36	26,18	11,63	28,83	13,99	1,5223
530	25,56	11,15	26,05	11,56	28,78	13,98	1,5213
540	25,30	10,98	25,94	11,52	28,74	13,96	1,5204
550	25,05	10,83	25,88	11,51	28,71	13,96	1,5196
560	24,80	10,69	25,87	11,56	28,70	13,97	1,5188
570	24,63	10,62	25,85	11,61	28,68	13,97	1,5181
580	24,48	10,59	25,95	11,76	28,67	13,99	1,5174
590	24,42	10,60	26,08	11,92	28,66	14,00	1,5168
600	24,40	10,67	26,28	12,14	28,63	13,99	1,5163
610	24,46	10,76	26,48	12,33	28,59	13,97	1,5157
620	24,61	10,87	26,85	12,63	28,55	13,95	1,5153
630	24,93	11,10	27,28	12,96	28,49	13,90	1,5148
640	25,28	11,34	27,68	13,26	28,42	13,83	1,5143
650	25,67	11,62	28,07	13,55	28,36	13,77	1,5138
660	25,88	11,76	28,28	13,70	28,28	13,70	1,5134

TABLA II

	Vibración según [100]		Vibración según [010]		Vibración según [001]	
	$n$	$k$	$n$	$k$	$n$	$k$
440	3,17	0,34	3,13	0,15	3,31	0,52
450	3,19	0,28	3,15	0,12	3,27	0,57
460	3,19	0,23	3,15	0,11	3,24	0,60
470	3,18	0,20	3,15	0,10	3,23	0,61
480	3,16	0,17	3,14	0,10	3,21	0,61
490	3,14	0,15	3,13	0,11	3,20	0,62
500	3,12	0,12	3,11	0,12	3,19	0,62
510	3,09	0,10	3,10	0,15	3,18	0,63
520	3,06	0,11	3,08	0,19	3,18	0,64
530	3,04	0,15	3,06	0,25	3,17	0,64
540	3,01	0,21	3,04	0,32	3,16	0,65
550	2,97	0,29	3,02	0,37	3,16	0,65
560	2,93	0,37	3,00	0,44	3,16	0,66
570	2,89	0,44	2,97	0,51	3,15	0,67
580	2,85	0,52	2,95	0,58	3,14	0,68
590	2,82	0,58	2,93	0,64	3,14	0,68
600	2,79	0,63	2,92	0,69	3,13	0,69
610	2,78	0,66	2,92	0,71	3,13	0,69
620	2,79	0,66	2,95	0,72	3,12	0,69
630	2,83	0,64	3,00	0,70	3,13	0,68
640	2,87	0,62	3,05	0,68	3,13	0,65
650	2,92	0,59	3,11	0,64	3,14	0,63
660	2,95	0,56	3,14	0,60	3,14	0,60

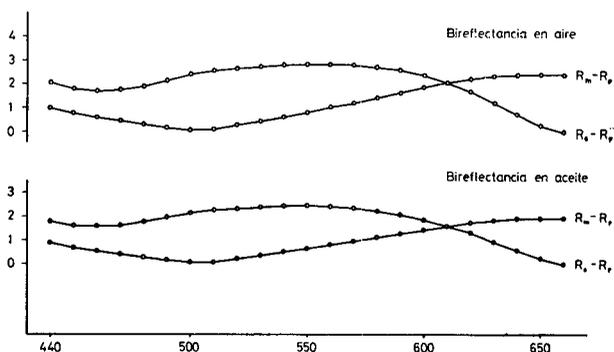


Fig. 5. — Curvas de birreflectancias en aire y aceite de la enargita.

lado los signos de la birrefringencia y la biabsorbancia. La fig. 5 muestra las curvas de la birreflectancia de la enargita en aire y en aceite, ambas son de forma idéntica. Como desde los 440 nm a los 612 nm  $(Rg - Rm) > (Rm - Rp)$  la birreflectancia es positiva. A 612 nm  $(Rg - Rm) = (Rm - Rp)$  en esta longitud de onda la birreflectancia cambia de signo y desde 612 nm a 660 nm el signo de la birreflectancia de la enargita es negativo ya que  $(Rg - Rm) < (Rm - Rp)$ .

La fig. 6 muestra las birrefringencias y biabsorbancias de la enargita. Con respecto a la birrefringencia se observa que desde 440 nm a 624 nm el signo es positivo. A los 624 nm la birrefringencia cambia de signo y a partir de este valor es negativa.

En el caso de la biabsorbancia la vibración para-

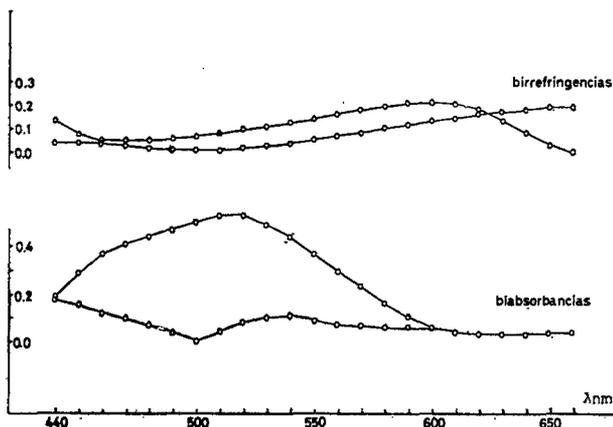


FIG. 6. — Curvas de birrefringencias y biabsorbancias de la enargita.

lela a  $z$  corresponde con ( $g$ ) desde 440 nm a 600 nm; desde 600 nm a 660 nm es ( $m$ ). La vibración paralela a  $y$ , desde 440 nm a 500 nm corresponde con ( $p$ ), de 500 nm a 600 nm es ( $m$ ); desde 600 nm a 660 nm es ( $g$ ).

La vibración paralela a  $x$  desde 440 nm a 500 nm corresponde con ( $m$ ) desde los 500 nm a 660 nm es ( $p$ ).

Siguiendo el mismo criterio establecido para las birreflectancias y birrefringencias podemos decir que la biabsorbancia es positiva desde los 440 nm a los 586 nm. En esta longitud de onda la biabsorbancia

cambia de signo y siendo negativa hasta los 660 nm. Tal como muestra la fig. 6 la biabsorbancia desde los 610 nm tiene un valor muy pequeño y tiende a cero.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. BEREK, M. (1937): *Fort. der Min. Krist. und Petrog.*, Teil I, 1-104.
2. PILLER, H., y GEHLEN, K. J. (1964): *Am. Miner.*, 49, 867-872.
3. CAPDECOMME, L. (1938): *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr.*, 61, 5-118.
4. LÉVY, C. (1966): "Contribution à la minéralogie des sulfures de cuivre du type  $Cu_3 \times S_4$ ". Thèse, Université de Paris. Publicada en *Mémoires du B.R.G.M.*, 102-108.
5. COMMISSION ON ORE MICROSCOPY (IMA) (1970): International tables for the microscopic determination of crystalline substances absorbing in visible light. Departamento de Cristalografía y Mineralogía de Barcelona, p. 33 (Comunicación privada de B. D. Cervelle, Laboratoire de Mineralogie, Université de Paris).
6. LÓPEZ-SOLER, A., y BOSCH-FIGUEROA, J. M. (1970): Obtención de las secciones pulidas utilizadas en los métodos cuantitativos. *Acta Geológica Hispánica*. Publicado en este mismo número.
7. LÓPEZ-SOLER, A., y BOSCH-FIGUEROA, J. M. (1970): Descripción de los equipos microfotométricos con incidencia normal. *Acta Geológica Hispánica*. Publicado en este mismo número.
8. LÓPEZ-SOLER, A., y BOSCH-FIGUEROA, J. M. (1970): *Trans. Inst. Min. Metall.*, 79, B, 249-251.