

## Estudio de la anisotropía de la dureza

por A. LÓPEZ SOLER,\*\* J. NOGUÉS,\* J. M. BOSCH FIGUEROA \*\*

### RESUMEN

En el presente trabajo se estudian las variaciones de la dureza (microdureza) de los minerales, en función de la dirección cristalográfica en que se han medido. Los datos experimentales se han obtenido utilizando un equipo Vickers, siendo los minerales seleccionados para el estudio el cinabrio y la enargita.

### SUMMARY

In the present work a study of the variations in the hardness of the minerals has been made in function of the crystallographic direction in which it has been measured. Experimental data has been obtained using a Vickers instrument. The minerals chosen for study are cinnabar and enargite.

En el estudio de la dureza de los minerales mediante la medida exacta de las huellas microscópicas, se observa que numerosos minerales ofrecen un comportamiento diferente según sea la sección cristalográfica en la que con la pirámide de diamante se ha provocado la formación de micro-huellas. Con ello, podemos admitir que los minerales son anisotropos con respecto a la propiedad física, la dureza.

En el estudio realizado se han seleccionado dos minerales: el cinabrio ( $\text{SHg}$ ) y la enargita ( $\text{S}_4\text{AsCu}_3$ ). De ellos se han preparado las secciones cristalográficamente orientadas según se indica a continuación. En el cinabrio se han pulido las secciones cortadas paralelamente a (1010), (1120), (1011), (0001) y en la enargita las paralelas a (001) y (110).

Antes de proceder a las operaciones de pulido de las secciones, los minerales se incluyeron en resina plástica CEEMAR, que polimeriza a temperatura ambiente. Después de su endurecimiento se procedió a las operaciones de pulido que se realizaron según la siguiente pauta:

- a) desbaste sobre placa de vidrio empleando como abrasivo polvo de carborúndum 3F lubricado con agua;
- b) pulido sobre discos de plomo empleando sucesivamente como abrasivos: Fast-cutting alumina, Low-cutting alumina y Gamma polishing alumina;
- c) el pulido final se consiguió mediante el empleo del Fine-Grade Polishing Medium sobre disco de aluminio cubierto con gamuza durante un corto período de tiempo, de uno o dos minutos.

Siendo condición necesaria que la punta de diamante del equipo de microdureza incida completamente normal a la superficie del mineral objeto de estudio, mediante el empleo de un torno mecánico de precisión se consiguió que la base de la preparación fuera perfectamente paralela a la cara pulida de la preparación.

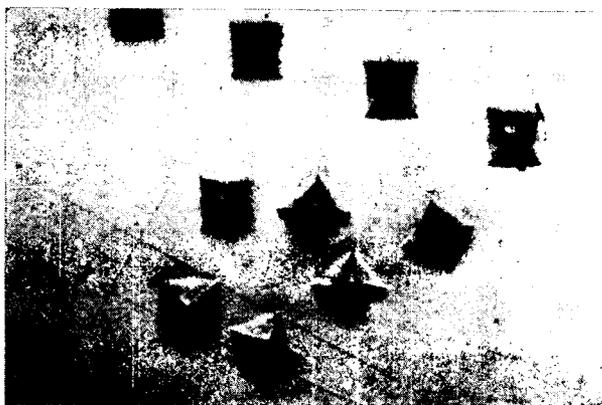


FIG. 1. — Aspecto de las huellas de la pirámide Vickers sobre la cara (0001) de cinabrio.

El aparato utilizado en la obtención de los datos experimentales del presente trabajo fue el Vickers Pneumatic Microhardness Tester provisto de un ocular micrométrico de 10x aumentos. La platina del es-

\* Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias. Universidad de Barcelona.

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

tativo era giratoria y graduada en 360°, equipada con otra platina supletoria con movimientos en cruz. El conjunto ha permitido efectuar impresiones únicas o series de huellas en cualquier dirección, por giro del conjunto de las dos platinas mediante los desplazamientos rectilíneos de la platina superior.

La punta de diamante en este equipo va montada en el centro del objetivo de mediano aumento (25x) cuya distancia de trabajo es de 0,5 mm.

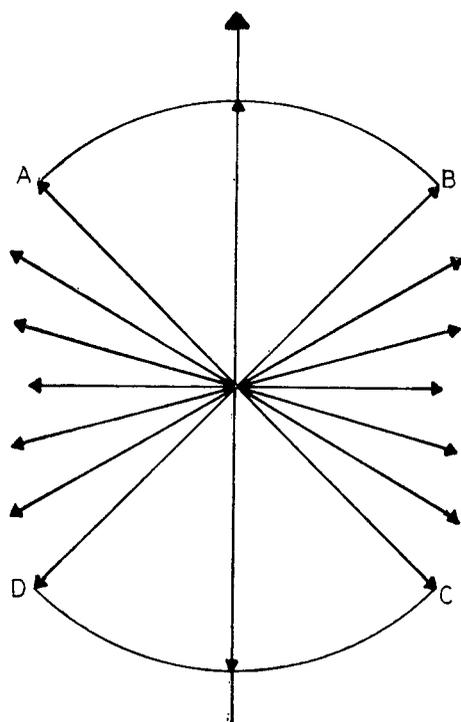


FIG. 2. — Cinabrio, sección (1010). Esquema de la variación en longitud de las diagonales de la impronta, según su dirección. En los intervalos comprendidos entre AB y CD el valor de la diagonal disminuye progresivamente hasta un mínimo que coincide con la dirección perpendicular al eje ternario.

## CINABRIO

### Sección (0001)

Esta sección se comporta isotrópicamente con respecto a la dureza. Las impresiones se presentan como cuadrados perfectos, no se observa ninguna rotura y los valores de microdureza permanecen constantes al ir girando la platina. El valor de la longitud de la diagonal, oscila entre 10,9 y 11,2 micras, lo que corresponde a un valor de microdureza de 156-148 unidades Vickers (fig. 1).

### Sección (1010)

La huella producida por la punta de la pirámide Vickers en esta sección queda con sus diagonales perfectamente nítidas e iguales cuando los lados de la

impresión son paralelos a la dirección [0001]. Los otros dos lados de la huella se presentan de forma cóncava y considerablemente fracturados, apareciendo en dirección [0001] una serie de grietas paralelas que nacen de los lados cóncavos de la huella.

Estas fracturas se hacen patentes al observar la preparación entre nicols cruzados ya que con ello se ponen de manifiesto las reflexiones internas.

Al ir girando la platina paulatinamente, la diag-

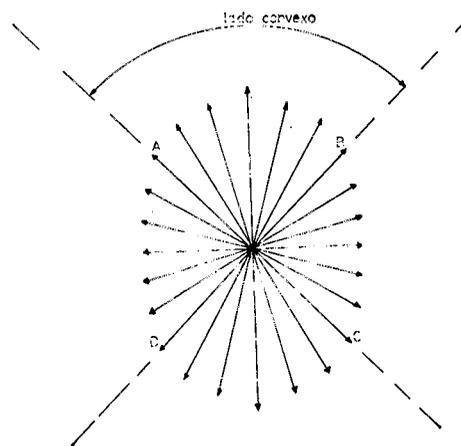


FIG. 3. — Cinabrio, sección (1120). Esquema de la variación en longitud de las diagonales de la impronta, según su dirección.

nal que se aproxima a la dirección [0001] permanece constante, mientras que la que se aleja va disminuyendo de longitud hasta alcanzar un mínimo que se logra cuando la dirección es perpendicular a [0001] (fig. 2).

Los valores extremos de microdureza son 35,1 unidades Vickers y 66,5 unidades Vickers respectivamente.



FIG. 4. — Aspecto de las huellas de la pirámide Vickers sobre la cara (1011) del cinabrio.

### Sección (1120)

La huella se presenta también muy fracturada, existiendo direcciones de marcada anisotropía, la longitud de las diagonales queda igualada cuando los lados del cuadrado de la impresión siguen la dirección [0001].

A partir de esta posición y al ir girando la platina, la diagonal que se acerca a la dirección [0001] aumenta en su longitud hasta alcanzar un valor máximo que coincide con el valor constante de la sección (1010): 35,7 unidades Vickers. Esta coincidencia se logra cuando la diagonal sigue una dirección paralela a la dirección del eje ternario. La otra diagonal disminuye en su longitud siendo mínima cuando es perpendicular a [0001], 71,5 unidades Vickers (figura 3).

Las líneas de fractura principales se orientan según el sentido de la diagonal menor y los lados que permanecen sin fracturarse se presentan marcadamente convexos.

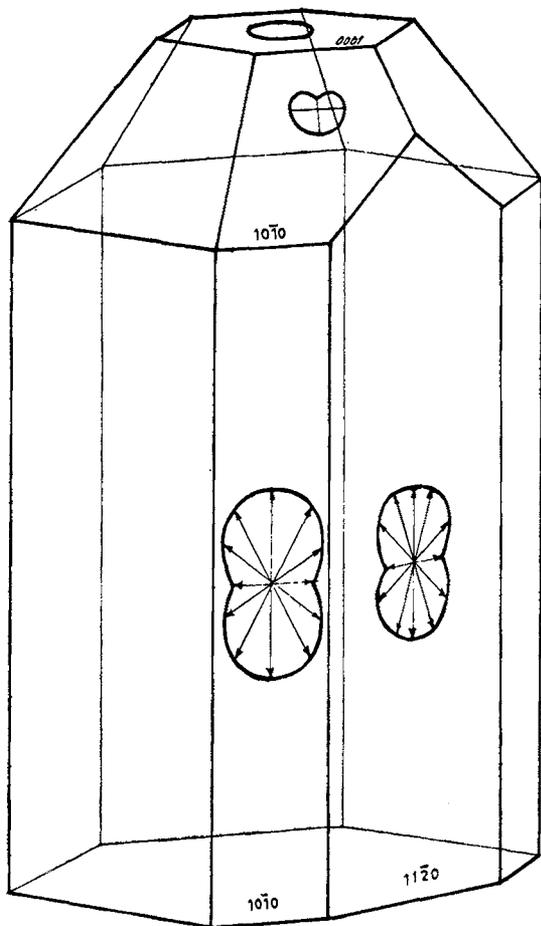


FIG. 5. — Superficie de los valores de las diagonales de las huellas producidas por la pirámide Vickers sobre las caras del cinabrio.

### Sección (1011)

La huella presenta una serie de características especiales que la diferencian del resto de las secciones. Es un cuadrado perfecto en tres de sus lados, valores de dureza de 82,4 unidades Vickers, pero en el otro se desarrolla una marcada concavidad. Al ir girando la platina, la dirección de la concavidad permanece constante, lo que motiva que la diagonal afectada disminuya en su longitud, llegando a alcan-

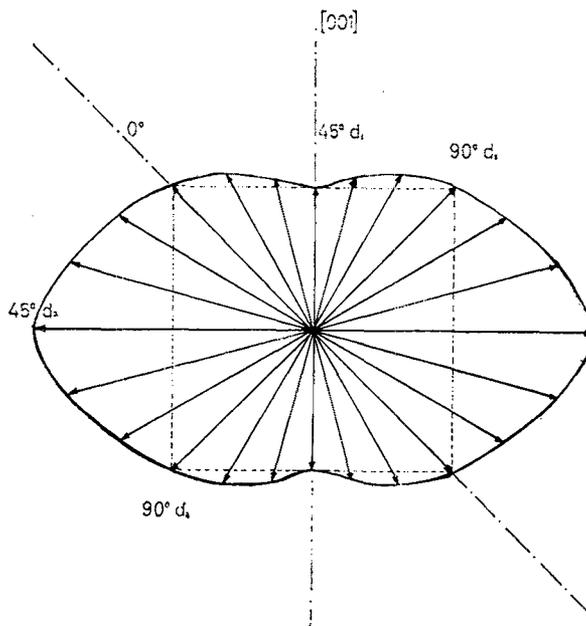


FIG. 6. — Esquema de la variación de la longitud de las diagonales de la impresión según su dirección sobre la cara (110) de enargita.

zar valores inferiores a los del resto de las secciones. Esta dirección coincide con la cristalográfica [1121], siendo los valores de dureza de 121 unidades Vickers (fig. 4).

En la figura 5 se ha representado esquemáticamente la longitud de las diagonales de la huella según su dirección, empleando vectores proporcionales a la longitud de las diagonales medidas en las series de impresiones efectuadas. La relación encontrada entre la dureza de las caras del cinabrio es:

$$D_{(0001)} > D_{(1011)} > D_{(1120)} \geq D_{(1010)}$$

### ENARGITA

#### Sección (001)

La sección se comporta como isotropa y las pequeñas variaciones observadas son propias del método y los valores oscilan entre 292-304 unidades Vickers.

### Sección (110)

Esta sección presenta una marcada anisotropía. Alcanza un valor máximo de microdureza en la dirección [001], 327 unidades Vickers. Al efectuar las determinaciones girando la platina del microscopio a intervalos de 15°, los valores se van aproximando hasta alcanzar un valor igual, cuando precisamente las dos diagonales se encuentran a 45° de la dirección [001]. En esta posición el valor de la dureza es de 285 unidades Vickers.

La figura 6 muestra la variación de la longitud de las diagonales al variar la dirección, en la sección (110) de enargita.

### BIBLIOGRAFÍA

1. BOWIE, S. H. U. y TAYLOR, K. (1958): A system of ore mineral identification, *Min. Mag. Lond.*, 99; nov., 265-77; Dec., 337-45.
2. GAHM, J. (1967): A new microhardness tester. *Zeiss Information*, núm. 62, Carl Zeiss. Oberkochen/Württ.
3. GRAESER, S. (1965): Die Mineralfundstellen im Dolomit des Binnatales. *Schweiz. Mineral. Petrog. Mitt.*, 45, 597-795.
4. LEBEDEEVA, S. I. (1963): The determination of the microhardness of minerals (in Russian). *Izdatelstvo Nauka SSSR*, Moskva, 122 pp.
5. LÓPEZ SOLER, A. (1968): Estudio de minerales opacos por microscopía cuantitativa de reflexión. *Tesis Doctoral*. Universidad de Barcelona.
6. PÄRNAMAA, E. (1968): On the use of Vickers microhardness (VH) in the microscopical identification of ore minerals, especially sulphides of Pb, Bi, Sb. *Lunds. Univ. Arsskr.*, N. F., avd. 2, 59, Nr. 3, 51 pp.
7. SHORT, M. N. (1940): Microscopic determination of the ore minerals. 2nd ed. *Bull. U. S. geol. Surv.* núm. 914, 314 p.
8. UYTENBOGAARDT, W. (1951): Tables for microscopic identification of the ore minerals. (*Princeton: Princeton University Press*), 242 p.
9. YOUNG, B. B. (1961): The microhardness of opaque minerals. *Ph. D. Thesis*, University of London.