

## Determinación de la dureza de los minerales mediante la medida de micro-huellas

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

### RESUMEN

En el presente trabajo se describe el método de la determinación de la dureza efectuando las mediciones a escala microscópica. Se establece la relación entre la escala de dureza de Mohs y las unidades Vickers de dureza (VHN). Se describen también los cuatro tipos de aparatos microscópicos que pueden ser utilizados en dicho método.

### SUMMARY

In the present work the method to determine the hardness by taking measurements at microscopical scale is described. The relationship between the Mohs scale of hardness and the VHN is established and also the four types of microscope equipment which are used in this method is described.

En realidad no es fácil asignar a la dureza una definición concreta como ocurre con las otras propiedades físicas, ya que dicha propiedad se la puede considerar como la resultante de un conjunto de otras varias como son la cohesión, la estructura, etc. Quizá se podría aceptar como más perfecta la definición dada por Osmond que dice: "Dureza es la resistencia que ofrece un material para sufrir una deformación permanente". En Mineralogía se la define como "la resistencia que ofrece un material a ser rayado".

El primero que propuso una escala de determinación de la dureza de los minerales fue Mohs, quien en 1822 y como resultado de una extensa y amplia gama de experimentos con minerales, seleccionó diez de ellos que ordenó y numeró correlativamente desde el menos duro, el talco (1) al más duro el diamante (10). El conjunto así dispuesto constituye lo que se conoce universalmente como escala de dureza de Mohs. La información que suministra dicha escala es únicamente relativa, sin ningún criterio cuantitativo.

MURDOCH (1916) y TALMAGE (1925) realizaron diversos intentos para llegar a cuantificar los valores de la escala de Mohs sin llegar a resultados prácticos, debido a que las técnicas utilizadas eran excesivamente complicadas.

Durante los últimos 25 años, el perfeccionamiento de los estativos y de los accesorios de la microscopía cuantitativa de luz reflejada han hecho posible la obtención de datos experimentales muy exactos. El método microscópico para determinar la dureza se basa en efectuar una presión sobre una pirámide de diamante, que puede ser de diferentes formas geométricas, y cuyo vértice actúa como punzón, que provoca la formación de una mella en la superficie del material estudiado. Si se conoce el valor, expresado en gramos, del contrapeso empleado y se puede medir con toda exactitud, en micras, la longitud de la mella formada, se puede expresar en unidades convencionales de dureza la relación  $\text{kg/mm}^2$ .

En la actualidad existen varios tipos de pirámides pero los de uso más frecuentes son las denominadas Knoop y Vickers. La pirámide de tipo Knoop es de base rómbica con una relación entre la longitud de las diagonales de 7:1 y una profundidad de la huella equivalente a 1/30 de la longitud de la diagonal mayor. Los ángulos formados por las aristas son de  $172^\circ 30'$  y de  $130^\circ$  respectivamente. La expresión trigonométrica del área de la huella provocada por este tipo de pirámide es:

$$A = \frac{1}{2} \cotg \frac{1}{2} (172^\circ 30') \cdot \tg \frac{1}{2} (130^\circ) \cdot d^2$$

$$A = \frac{1}{2} \tg (3^\circ 45') \cdot \tg (65^\circ) \cdot d^2$$

$$D_k = \frac{1}{0,07028} \frac{P}{d^2}$$

en donde:

A = Área de la superficie de la huella.

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

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

$d$  = Longitud de la diagonal mayor, expresada en micras.

$P$  = Contrapeso empleado, expresado en gramos.

$D_k$  = Dureza en unidades Knoop.

La pirámide de diamante Vickers es de base cuadrada, y el ángulo de las caras opuestas es de  $136^\circ$  con una penetración igual a  $1/7$  de la longitud de las diagonales. La forma de la huella es teóricamente un cuadrado perfecto.

La expresión trigonométrica se simplifica en este caso al formar las caras un ángulo constante de  $136^\circ$ .

$$A = \frac{d^2}{2 \operatorname{sen} 68^\circ}$$

y como:

$$D_v = P/A; D_v = \frac{2 \operatorname{sen} 68^\circ P}{d^2} = 1,8544 P/d^2$$

siendo:

$A$  = Área de la superficie de la huella.

$d$  = Semisuma de las diagonales.

$P$  = Contrapeso empleado, expresado en gramos.

$D_v$  = Dureza en unidades Vickers.

La conveniencia de elegir uno u otro tipo de pirámide ha sido discutido por varios autores, pero en realidad se obtienen buenos resultados con cualquiera de los dos métodos citados. Sin embargo, se ha generalizado más el uso de la pirámide de tipo Vickers, ha-

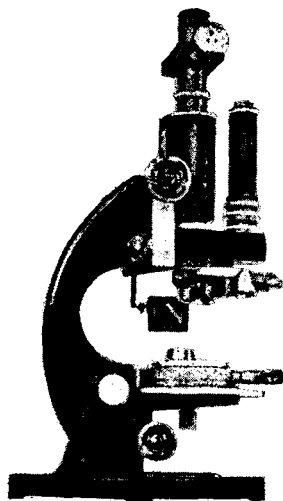


FIG. 1. — Aparato de microdureza, GKN, acoplado al microscopio Beck.

biendo sido ésta la técnica utilizada en las investigaciones que hemos realizado sobre la dureza a escala microscópica, de los minerales.

#### *Relación entre la escala de Mohs y los valores Vickers de dureza*

Varios autores han intentado realizar una correlación entre los valores obtenidos utilizando la pirámide Vickers y la escala propuesta por Mohs para clasificar los minerales de acuerdo a la resistencia que oponen a ser rayados.

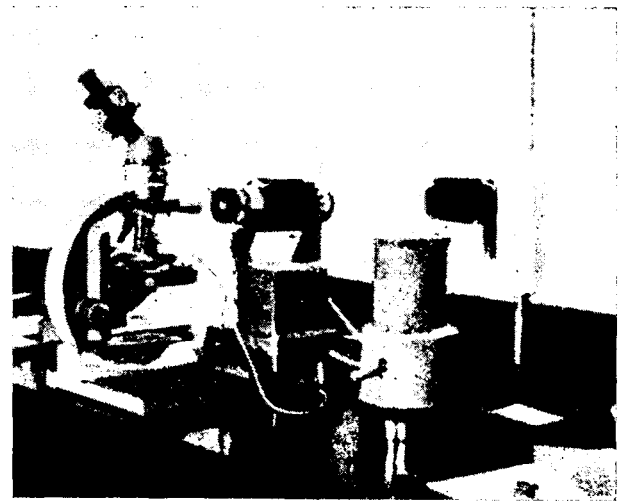


FIG. 2. — Aparato de microdureza, Vickers Pneumatic, acoplado al microscopio Vickers.

Khrushchov realizando mediciones en los nueve primeros minerales de la escala de Mohs encontró la relación:

$$D_v = \left( \frac{D_M}{10} \right) 0,33$$

siendo:

$D_v$  = Dureza Vickers, y

$D_M$  = Número de la escala de Mohs.

Posteriormente Young efectuando también mediciones en los nueve primeros minerales de la escala de Mohs encuentra variaciones en la dureza obtenida según sea la orientación cristalográfica de la cara sobre la que se efectúa la huella y da la siguiente escala de correlación:

Escala de Mohs	Orientación	D <sub>v</sub> con 100 g
1. Talco		7-10
2. Yeso	(010)	35-48
3. Calcita	(1011)	105-116
4. Fluorita	(100)	174-181
	(111)	174-203
5. Apatito	(0001)	454-606
6. Ortosa	(001)	642-933
	(110)	681-882
	(010)	642-913
7. Cuarzo	(0001)	1.266-1.465
	(1010)	1.378-1.561
8. Topacio	(001)	1.666-2.012
	(010)	1.478-1.747
	(100)	1.620-1.818
9. Corindón	(0001)	2.097-2.598
	(1010)	2.341-2.758

Con estos datos Young deduce que la relación entre dureza Mohs y unidades Vikers viene dada por la expresión:

$$D_M = \left( \frac{D_v}{10} \right) 0,4$$

Según esta expresión al diamante le correspondería un valor de 10.000 kg/mm<sup>2</sup> y por consiguiente tendría que ocupar el número 16 en la escala de Mohs.

#### *Aparatos utilizados para la medición de la dureza a escala microscópica*

Los diferentes fabricantes han diseñado distintos modelos de aparatos para la medición de la dureza que de acuerdo con sus características podemos dividirlos en 4 grupos.

1.º) Aparatos provistos de contrapesos fijos de 1 gramo; 3 gramos; 10 gramos; 30 gramos; 100 gramos y 200 gramos, que son colocados manualmente en

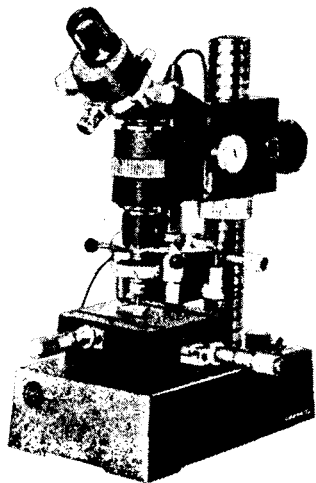


FIG. 3.— Aparato de microdureza, Miniload Hardness Tester, Ernst Leitz.

el extremo de un brazo articulado que transmite la presión a la pieza en que está engastada la pirámide GKN, Microhardness Tester.

2.º) Los que la presión equivalente a un contrapeso de 5 gramos; 20 gramos; 50 gramos; 100 gramos y 200 gramos es producida utilizando un compresor neumático. Dicha presión es transmitida a la parte móvil de un objetivo especial en la que va engastada la pirámide de diamante Vickers Pneumatic.

3.º) Los que el desplazamiento de la parte móvil en la que va engastada la pirámide de diamante es provocado mediante la acción de un sistema hidráulico que regula la velocidad de penetración del vértice de la pirámide. El aparato permite colocar contrapesos de valor constante: 10 gramos, 200 gramos, 300 gramos, 500 gramos y 1.000 gramos. Miniload Hardness Tester. Ernst Leitz.

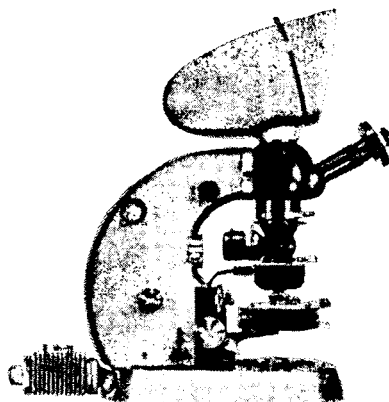


FIG. 4.— Aparato de microdureza, MHP-Carl Zeiss, montado al Fotomicroscopio Carl Zeiss.

4.º) El que la parte móvil que lleva engastada la pirámide de diamante es desplazada eléctricamente y al apoyarse el vértice de dicha pirámide sobre la superficie del material estudiado, transforma su penetración en lecturas directas en una escala graduada cuyas divisiones corresponden exactamente a la presión que se efectúa. Con este tipo de aparatos es posible efectuar mediciones con todos los valores comprendidos entre 0 y 200 gramos. Microhardness Tester, Carl Zeiss.

Todas las firmas constructoras suministran conjuntamente con el aparato unas Tablas de doble entrada en las que:

- gramos del contrapeso empleado,
- micras de la longitud de la diagonal de la mella,

dan directamente la dureza del material.

Al poder disponer de instrumentos cada vez más perfectos, la Comisión de Microscopía de Minerales, de la Asociación Internacional de Mineralogía, ha tomado el acuerdo de publicar unas Tablas Internacionales en las que figuren los valores de la microdureza de todos los minerales, cuyos valores podrán ser utilizados en estos métodos microscópicos de identificación.

La posibilidad de efectuar mediciones muy exactas de la dureza de un material a escala microscópica, permite efectuar las determinaciones en diferentes secciones, cuya orientación cristalográfica ha sido determinada previamente según la simetría del material. De acuerdo con este criterio es posible establecer la anisotropía que un mineral presenta frente a esta propiedad física, la dureza.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. BOSCH FIGUEROA, J. M. (1970): Determinación de la dureza mediante los métodos de la microscopía cuantitativa de luz reflejada. *Gemología*, núm. 3 y 4, pág. 19-29, Barcelona.
2. BOSCH FIGUEROA, J. M. y LÓPEZ SOLER, A. (1966): Study of crystal imperfections produced by mechanical pressure. VII. *Congreso Internacional de Cristalografía*. Moscú.
3. BOSCH FIGUEROA, J. M. y LÓPEZ SOLER, A. (1969): Optical Characteristics of some opaque materials. *International Conference-IMA/COM Meeting*. Copenhagen.
4. BOWIE, S. H. U. y TAYLOR, K. (1958): A system of ore mineral identification. *Min. Mag. Lond.*, 99, nov., 265-77; dic., 337-45.
5. KHRUSHCHOV, M. M. (1950): Microhardness, Mohs hardness and grades of hardness. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 72, n.º 4, 779-80. (Russian Text).
6. GAHM, J. (1967): A new microhardness tester. *Zeiss Information*, n.º 62, Carl Zeiss, Oberkochen/Würt.
7. LÓPEZ SOLER, A. (1968): Estudio de minerales opacos por microscopía cuantitativa de reflexión. *Tesis Doctoral*. Universidad de Barcelona.
8. MOTT, B. W. (1956): Microindentation hardness testing. (London: *Butterworths*), 280 p.
9. TALMAGE, S. B. (1925): Quantitative standards for hardness of the ore minerals. *Econ. Geol.*, 20, n.º 6, 535-53.
10. TAYLOR, E. W. (1949): Correlation of the Mohs's scale of hardness with the Vickers's hardness numbers. *Miner. Mag.* 28, sept., 718-21.
11. WINCHELL, H. (1945): The knoop microhardness tester as a mineralogical tool. *Am. Miner.*, 30, n.º 9-10, 583-95.
12. YOUNG, B. B. (1961): The microhardness of opaque minerals. *Ph. D. Thesis*. University of London.